

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Kombinovaný paletizační efektor pro robot Fanuc

Combined Palletizing Effector for the Robot Fanuc

Student:

Bc. Tomáš Zahradník

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Konzultant diplomové práce

Ing. Karel Lisník

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Zahradník**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2301T013 Robotika**
Téma: **Kombinovaný paletizační efektor pro robot Fanuc
Combined Palletizing Effector for the Robot Fanuc**
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

- 1) Analyzujte činnosti prováděné při paletizaci pytlovaného zboží, včetně manipulace s paletami.
- 2) Specifikujte požadavky pro návrh kombinovaného paletizačního efektoru. Vyberte vhodný robot firmy Fanuc.
- 3) Navrhněte několik variant řešení efektoru.
- 4) Aplikací hodnotové analýzy vyberte optimální variantu.
- 5) Podrobně zpracujte technické řešení optimální varianty, doložte potřebnými výpočty a výkresovou dokumentací.
- 6) Zhodnoťte navrženou variantu, vypočtěte náklady na její pořízení.

Práci též doložte v elektronické podobě, ve formátu editoru MSWORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online] [cit. 2013-11-07]. Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace>](http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace)
- [2] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [3] ISO 690. *Bibliografické citace: Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [4] SKAŘUPA, J. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování*. [online] 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. [cit. 2013-11-07]. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0. Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf>](http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf)
- [5] KÁRNÍK, L. *Periferní zařízení RTP*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. 127 s. ISBN 80-248-1221-5.
- [6] PALKO, A , SMRČEK, J. *Robotika, Koncové efekторы pre priemyslné a servisné roboty. Navrhovanie-konstrukcia-Riesenia*. 1.vyd Košice: Edícia vedeckej a odbornej literatury TU v Košiciach, 2004. ISBN 80-8073-218-3.
- [7] SKAŘUPA, J., ZELINA, P. *Hlavice průmyslových robotů*. 1.vyd Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1993.

ISBN 80-7078-210-2.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.**

Konzultant diplomové práce: **Ing Karel Lisník**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2016



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Tomáš Zahradník

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Fryčovice 454, 739 45

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Zdeňku Konečnému, Ph.D. za pomoc při vedení diplomové práce a vstřícnost při konzultacích. Mé poděkování patří též Ing. Karlu Lisníkovi za cenné rady a věcné připomínky při zpracování této práce.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ZAHRADNÍK, T. *Kombinovaný paletizační efektor pro robot Fanuc: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2016. 65s. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem kombinovaného paletizačního efektoru pro roboty Fanuc. Na základě analýzy současného stavu problematiky a požadavkového listu byly vytvořeny varianty řešení. Vítězná varianta je poháněna kompletně pneumaticky. Efektor disponuje mechanismem k přidržování pytle během manipulace. Efektor je také schopný manipulovat s prázdnou Industrial paletou. V příloze práce se nachází sestavný výkres efektoru a výrobní dokumentace.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

ZAHRADNÍK, T. *Combined Palletizing Effector for the robot Fanuc: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2016, 65 p. Thesis head: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

This diploma thesis deals with structural design of combined palletizing effector for the robot Fanuc. Based on a research of contemporary solutions and request sheet two variants of the effector were proposed. Chosen variant is completely driven pneumatically. Effector includes a mechanism for holding the bag during manipulation. Effector is able to prepare empty industrial pallet thanks to hook system. A drawings of the effector and its parts are included as an appendix of this work.

Obsah

Seznam použitého značení a zkratk.....	10
Úvod.....	11
1 Analýza současného stavu problematiky	12
1.1 Manipulace s pytlovým zbožím	12
1.2 Manipulace s paletou	14
1.3 Přidržování objektu manipulace	15
1.4 Roboty Fanuc vhodné pro tento typ úlohy.....	16
1.5 Paleta Industrial	16
2 Požadavkový list	17
3 Návrh variant.....	18
3.1 Varianta A – pneumatický vidlicový efektor s háky pro paletu	18
3.2 Varianta B – pneumatický vidlicový efektor s polohovatelnou vidlicí	20
4 Hodnotová analýza.....	23
5 Konstrukční řešení efektoru	26
5.1 Základní deska	26
5.2 Vidlice.....	29
5.3 Přidržovací mechanismus	33
5.4 Opěrná deska.....	34
5.5 Hřídele s háky	35
5.6 Vzpěra	36
5.7 Pohon hřídele	37

5.8	Pneumatický blok	38
5.9	Připojení efektoru k robotu	39
5.10	Parametry efektoru	40
5.11	Utahovací momenty šroubů	41
6	Pevnostní výpočty	41
6.1	Příruba	41
6.2	Skříň	43
6.3	Základní deska	43
6.4	Vidlice	45
6.5	Opěrná deska	47
6.6	Držák bezpístnicového pohonu	48
6.7	Hřídel	49
6.8	Háky	52
7	Cenová kalkulace	55
8	Závěr	57
	Seznam obrázků a tabulek	59
	Zdroje	63
	Seznam příloh	65

Seznam použitého značení a zkratk

Značka	Popis	Jednotka
C	Základní dynamická únosnost	[N]
C ₀	Základní statická únosnost	[N]
D	Jmenovitý průměr	[mm]
F _a	Axiální síla	[N]
F _g	Gravitační síla	[N]
F _N	Normálová síla	[N]
F _o	Osová síla ve šroubu	[N]
F _r	Radiální síla	[N]
F _t	Třecí síla	[N]
L ₁₀	Základní trvanlivost	[mil. otáček]
L _{10hod}	Základní trvanlivost v hodinách	[hod]
M	Expo. Rovnice trvanlivosti pro bodový styk	[-]
M _u	Utahovací moment	[Nm]
OM	Objekt manipulace	[-]
P _r	Radiální dynamické ekvivalentní zatížení	[N]
R	Rozteč závitu - stoupání	[mm]
S ₀	Součinitel statické bezpečnosti	[-]
X	Koeficient radiálního dynamického zatížení	[-]
Y	Koeficient axiálního dynamického zatížení	[-]
g	Gravitační zrychlení	[m/s ²]
m	Hmotnost	[kg]
n	Otáčky	[min ⁻¹]
p	Počet ložisek	[-]
μ _s	Součinitel tření za klidu	[-]

Úvod

V této diplomové práci se zabývám konstrukcí kombinovaného efektoru. Efektor je použit pro automatizovanou paletizaci pytlovaného zboží, včetně přípravy prázdné palety před samotným ukládáním pytlů. Použitím multifunkčního efektoru odpadá nutnost použití dalšího manipulátoru nebo lidské obsluhy.

V první kapitole jsou nastíněny různé možnosti řešení konstrukce paletizačních efektorů. U každého z nich jsou stručně uvedeny výhody a úskalí, včetně základních parametrů. Dále se v kapitole zaměřuji na ukázky řešení manipulace s paletou a zajišťování objektu manipulace proti nežádoucímu pohybu. V neposlední řadě jsou v této kapitole uvedeny roboty, o kterých lze uvažovat pro připojení efektoru a popsána industrial paleta.

Na základě rešerše byl po domluvě s vedoucím a konzultantem sestaven požadavkový list, který je základem pro řešení konstrukce efektoru. Na základě požadavkového listu jsou formována kritéria pro hodnotovou analýzu.

Dalším krokem je vypracování variant řešení. Varianty by měly na sobě podobné úrovně propracovanosti, aby hodnocení bylo co nejvíce objektivní. Varianty byly podrobeny kritériální analýze, díky které je vybrána varianta, která nejlépe splňuje vybraná kritéria. Tato varianta je dále podrobně rozpracována.

V další kapitole jsou podrobně popsány jednotlivé konstrukční uzly, včetně nutných výpočtů. Pro popisování konstrukce byl využit software PTC Creo Illustrate 3.0. Všechny vyráběné díly jsou podrobeny pevnostním analýzám v modulu PTC Creo Simulate 3.0. Ke všem vyráběným dílům je vypracována výkresová dokumentace, včetně sestavných výkresů. V závěru práce je provedena orientační cenová kalkulace nákladů na výrobu a montáž efektoru.

1 Analýza současného stavu problematiky

1.1 Manipulace s pytlovým zbožím

Při robotizované paletizaci jsou ve většině případů pytle dopravovány na robotizované pracoviště pomocí válečkového dopravníku, odkud si je robot odebere pomocí vidlicového efektoru. Je tedy nutno počítat s roztečí válečků dopravníku, rozměry a hmotností pytle a frekvencí přísunu pytlů.



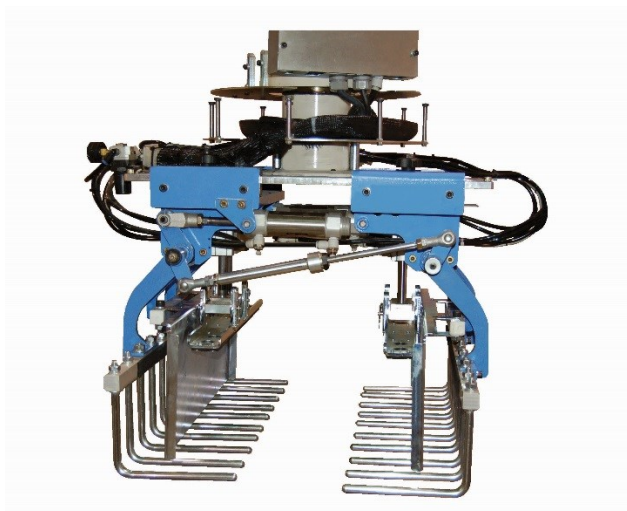
Obrázek 1.1 - Odebírání pytle z válečkové trati

Držení pytlů by se daly rozdělit do těchto nejčastějších způsobů:

- Prstové
- Vidlicové
- Vakuové

Prstové provedení

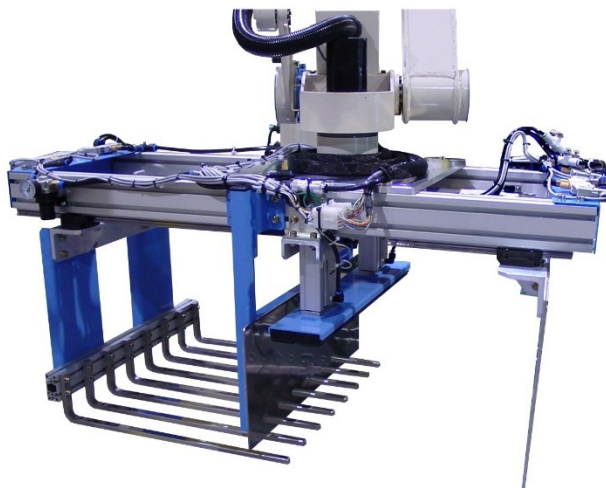
Nejčastější provedení efektoru pro manipulaci s pytlovými produkty. Pytel je z obou stran uchopen výklopnými prsty a odebrán z válečkové tratě. Rozteč prstů efektorů musí být v souladu s roztečí válečků dopravníku. Poměrně snadno lze přejít na paletizaci produktů jiných rozměrů (v rámci rozumných mezí) bez nutnosti měnit koncový efektor.



Obrázek 1.2 - Prstový koncový efektor[6]

Vidlicové provedení

Provedení efektoru, které si vyžaduje přidržovat objekt manipulace z boku. Při stejné orientaci objektů manipulace, je možno uchytit i více objektů současně. Vidlice je upevněná na lineární ose, přičemž uchopovací síla je vyvinuta vůči pevné desce. Objekt je zajištěn obvykle pomocí pneumatických přidržovačů. Tento typ efektorů je vhodný nejen pro manipulaci s pytlí, ale například i s krabicemi apod.



Obrázek 1.3 - Vidlicový koncový efektor[6]

Vakuové provedení

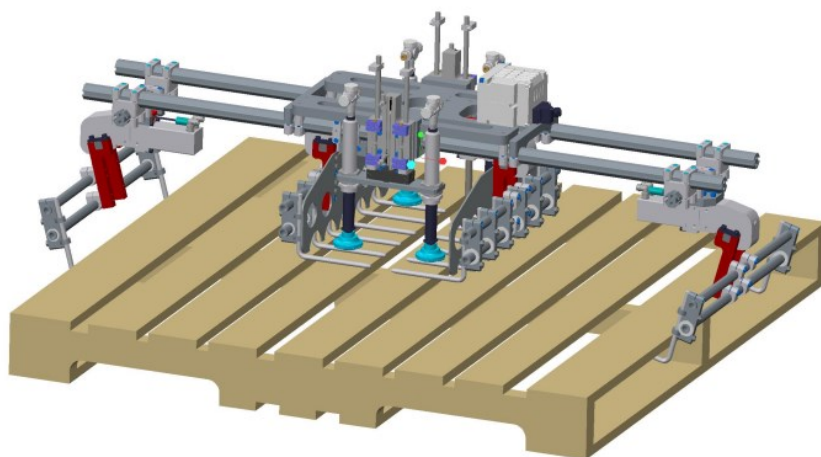
Vakuové provedení efektorů je vhodné pro případy, kdy je nutno uchopovat objekt manipulace shora nebo je omezen možný zástavbový prostor efektoru. Primárně existují dva typy provedení těchto efektorů. Prvním způsobem je použití desky, která vytváří vakuum po celé své ploše. Tento typ je velice univerzální. Druhým způsobem jsou jednotlivé přísavky, které vytváří vakuum pro každý objekt manipulace zvlášť. Tento typ je používán pro specifické řady výrobků.



Obrázek 1.4 - Vakuový koncový efektor[6]

1.2 Manipulace s paletou

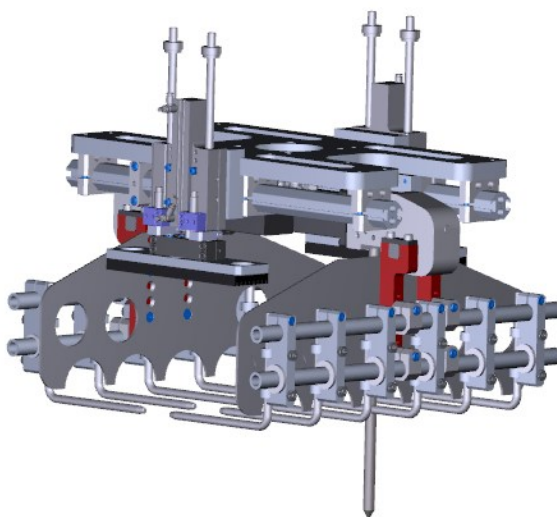
Efektor může disponovat přidavným mechanismem, díky kterému je schopný si připravit prázdnou paletu ze zásobníku na místo uložení pytlů. Pracoviště tak nemusí obsahovat další manipulátor nebo lidskou obsluhu pro přípravu palet. Mechanismus by měl být strukturován tak, aby při manipulaci s pytlí neomezoval pracovní prostor robotu, případně aby nedošlo k poškození již uložených pytlů.



Obrázek 1.5 - Varianta manipulace s paletami firmy DE-STA-CO[7]

1.3 Přidržování objektu manipulace

Při pohybu robotu s objektem manipulace může dojít k posuvu pytle v efektoru. Tento nežádoucí jev je eliminován pomocí mechanismu přidržování pytle. Nejčastěji toto bývá řešeno pneumatickými přidržovači.



Obrázek 1.6 - Ukázka pneumatického přidržování firmy DES-TA-CO[7]

1.4 Roboty Fanuc vhodné pro tento typ úlohy

Na webu firmy Fanuc byly vybrány roboty splňující zadaná kritéria, tj. nosnost robotu 100÷150 kg (koncový efektor + zátěž), rádius pracovního prostoru 3,5 m, aplikace robotu při paletizaci a montáži na podstavec. Ve výsledku byly nalezeny dva vhodné roboty pro tuto aplikaci a to typ M-900iA/150P a M-900iA/200P (viz. Obrázek 1.7).

Základní charakteristiky robotů:

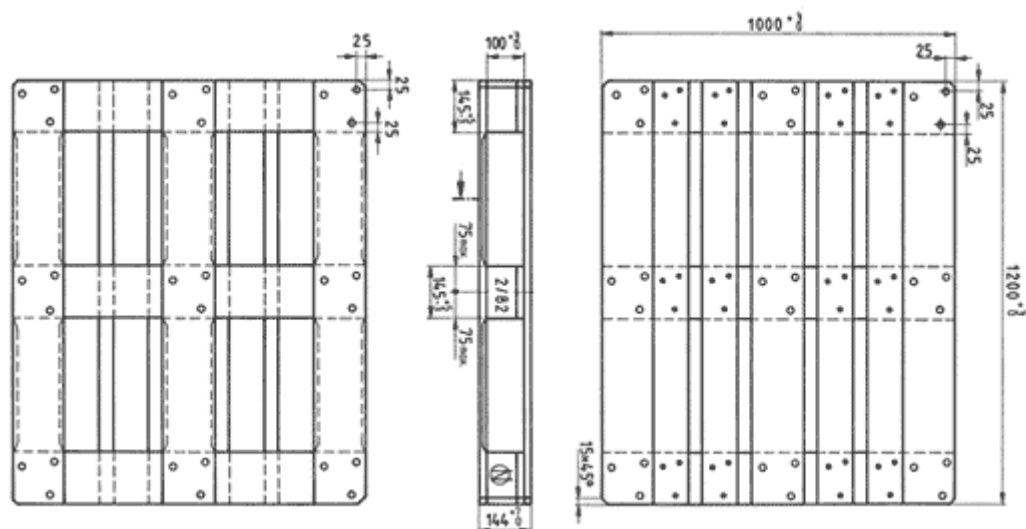
- Osy 6
- Užitečné zatížení 150 kg (200 kg)
- Dosah 3 507 mm



Obrázek 1.7 - Roboty Fanuc[8]

1.5 Paleta Industrial

Průmyslové palety určovány k uskladnění zboží o rozměrech 1000x1200x144 mm. Palety tohoto rozměru spadají pod normy EUR 2 a EUR 3. Paleta EURO 2 je dvoucestná - disponuje uzavřenou spodní konstrukcí, tudíž neumožňuje manipulaci s nízkozdvižným vozíkem. Palety obsahují sedm svrchních prken, přičemž krajní prkna jsou zdvojená. Materiál palet je po většinou smrkové dřevo, můžeme se setkat i s paletami plastovými, které mají nižší hmotnost. Hmotnost suché palety se pohybuje okolo 25 kg. Nosnost europalety je stanovena normou na 1500 kg.



Obrázek 1.8 - Rozměry palety EUR 3

2 Požadavkový list

Požadavkový list byl vytvořen na základě zadání a konzultací s Ing. Lisníkem ve firmě DAS spol. s r.o.

Všeobecné požadavky

- Kombinovaný efektor pro robot Fanuc
- Robot je paletizační, stacionární, umístěný na 1,2 m vysoké podpoře
- Rádus pracovního prostoru robotu $\pm 3,5$ m

Konstrukční požadavky

- | | |
|--|------------------|
| • Maximální hmotnost efektoru | 100 kg |
| • Nosnost efektoru | 50 kg |
| • Objekt manipulace | pytlivé zboží |
| ○ Rozměry objektu manipulace | 600x400x120 mm |
| • Odebírání OM z válečkové trati | |
| ○ Rozteč válečků | 114 mm |
| • Manipulace s prázdnou paletou industrial | |
| • Rozměry palety EUR 3 (industrial) | 1200x1000x144 mm |

• Přidržování pytle při manipulaci	pneumatické
• Použitý materiál	dural, ocel
• Požadovaná rychlost manipulace	11 sec
• Zástavbový prostor efektoru	minimalizovat
• Typ pohonů	elektrické, pneumatické
• Znečištění prostředí	běžné, výrobní hala

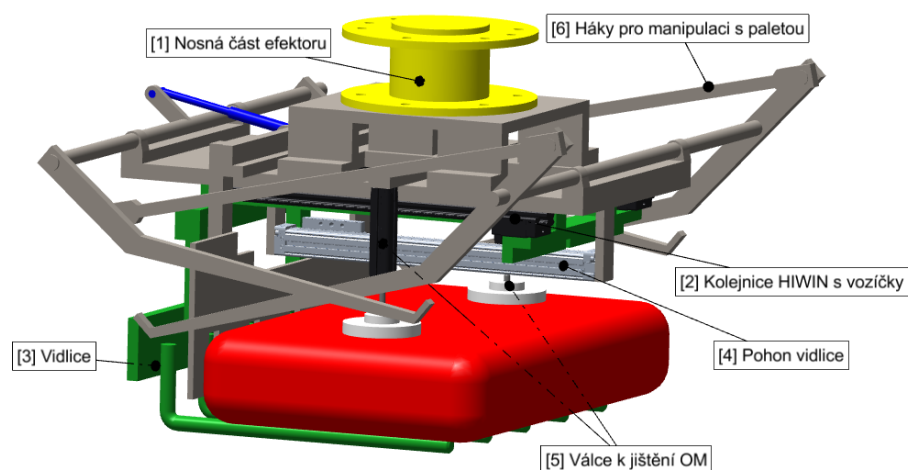
3 Návrh variant

Návrhy variant byly vymodelovány zjednodušeně tak, aby byl z nich jasný princip a základní funkce efektoru. Spojovací materiál, ložiska, zaoblení, sražení hran apod. nejsou součástí předběžného návrhu. Pohonné jednotky, jejich rozměry typy a upevnění jsou umístěny jen orientačně. Rozměry a materiály jednotlivých vyráběných komponent budou taktéž upraveny později na základě pevnostních analýz.

3.1 Varianta A – pneumatický vidlicový efektor s háky pro paletu

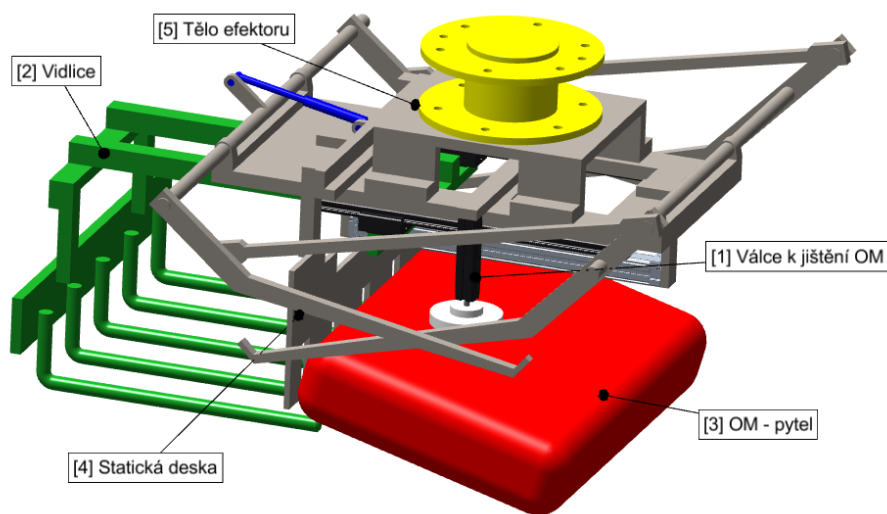
Manipulace s pytlem

Nosnou část efektoru (poz.1) tvoří ocelová deska, ke které jsou přišroubovány či přivařeny jednotlivé komponenty. Efektor je připevněn k robotu pomocí svařence příruby a skříně, který poskytuje prostor pro umístění řídicích komponent a bloku pneumatiky. Svařenec je připevněn k základní desce pomocí šroubů. K základní desce jsou zespodu přišroubovány dvě kolejnice HIWIN (poz.2), které umožňují pohyb vidlice v horizontálním směru. Vidlice (poz.3) je svařenec ve tvaru C-háku z profilů obdélníkového průřezu a ohýbaných kruhových tyčí. Vidlice je propojena s bezpístnicovým pneumatickým válcem (poz.4) a vozíčky na kolejnicích. Po odebrání pytle z válečkového dopravníku je pytel zajištěn pneumatickými válci (poz.5) tak, aby nedocházelo k nežádoucímu pohybu pytle během manipulace. Háky (poz.6) jsou během manipulace ve složeném stavu.



Obrázek 3.1 - Varianta A - manipulace s pytle

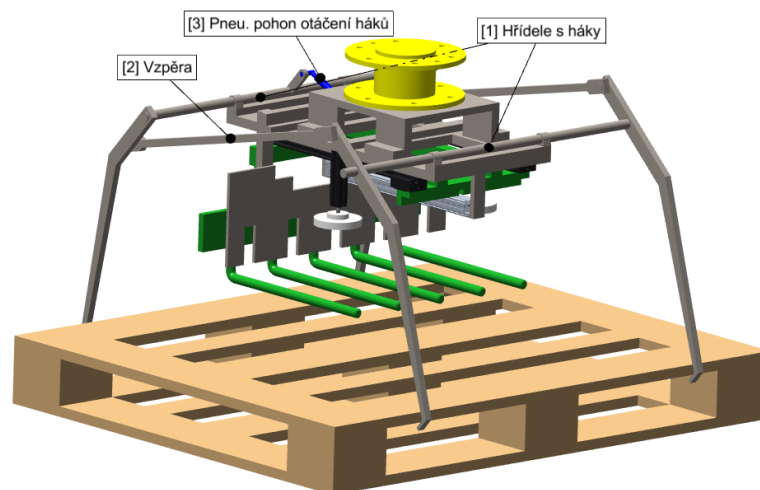
Po najetí robotu na místo vyložení pytle na paletou proběhne odjištění pytle (poz.3) pneumatickými válci (poz.1). Vlivem pohybu vidlice (poz.2) dojde k vyložení pytle, který je opřen o statickou desku (poz.4). Síla pohonu vidlice musí být větší, než třecí síla vzniklá mezi pytle a vidlicemi.



Obrázek 3.2 - Varianta A - vyložení pytle

Manipulace s paletou

Úchop palety je zajištěn pomocí čtyř háků, které jsou umístěny na dvou hřídelích (pos.1). Obě dvojice háků jsou spřaženy pomocí tyče (pos.2) tak, aby je bylo možno ovládat jediným pohonem (pos.3). Háky jsou pomocí tvarového styku pevně spojeny s hřídeli, která se otáčí ve dvou ložiscích upevněných v ložiskových domcích na základní desce.

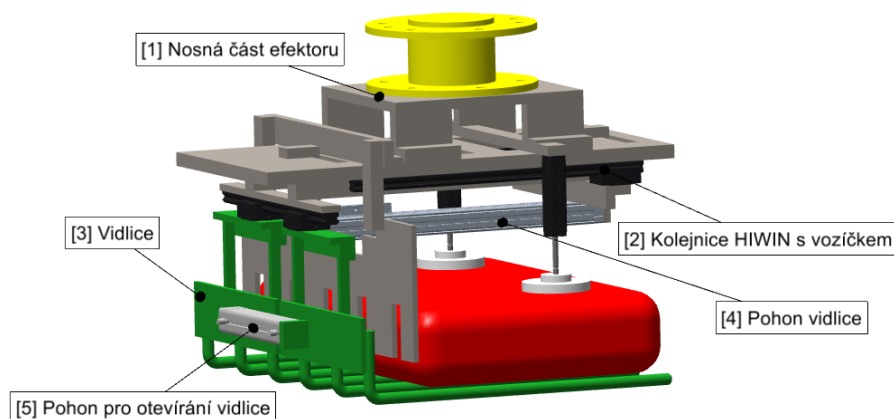


Obrázek 3.3 - Varianta A úchop palety

3.2 Varianta B – pneumatický vidlicový efektor s polohovatelnou vidlicí

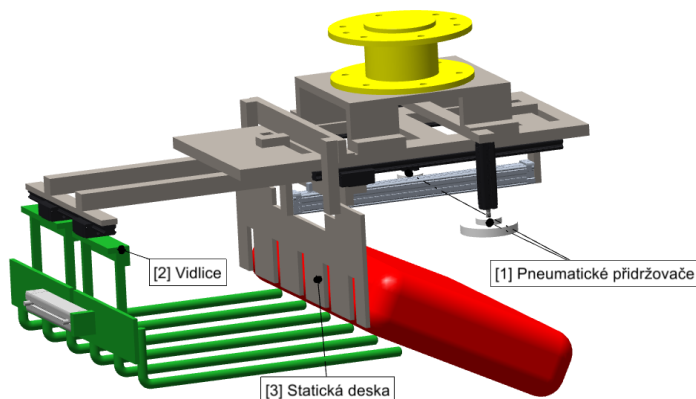
Manipulace s pytlem

Nosnou část efektoru (pos.1) tvoří ocelová deska, ke které jsou přišroubovány či přivařeny jednotlivé komponenty. Efektor je připevněn k robotu pomocí svařence příruby a skříně, který poskytuje prostor pro umístění řídicích komponent a bloku pneumatiky. Svařenec je připevněn k základní desce pomocí šroubů. K základní desce jsou zespodu přišroubovány dvě kolejnice HIWIN (pos.2), které umožňují pohyb vidlice (pos.3) v horizontálním směru. Vidlice je svařenec ve tvaru C-háku z profilů obdélníkového průřezu a ohýbaných kruhových tyčí. Vidlice je propojena s bezpístnicovým pneumatickým válcem (pos.4) a vozičky na kolejnicích. Oproti variantě A je vidlice opatřena dalším pohonem (pos.5), který ovládá rozevření vidlice podle toho, jestli je objektem manipulace pytel nebo paleta.



Obrázek 3.4 - Varianta B – úchop pytle

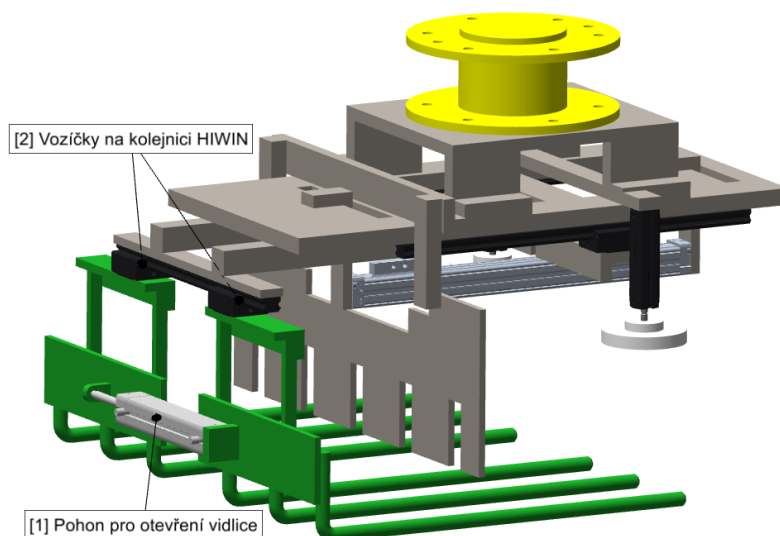
Po njetí robotu na místo vyložení pytle na paletu proběhne odjištění pytle pneumatickými válci (pos.1). Vlivem pohybu vidlice (pos.2) dojde k vyložení pytle, který je opřen o statickou desku (pos.3). Síla pohonu vidlice musí být větší, než třecí síla vzniklá mezi pytle a vidlicemi.



Obrázek 3.5 - Varianta B - vyložení pytle

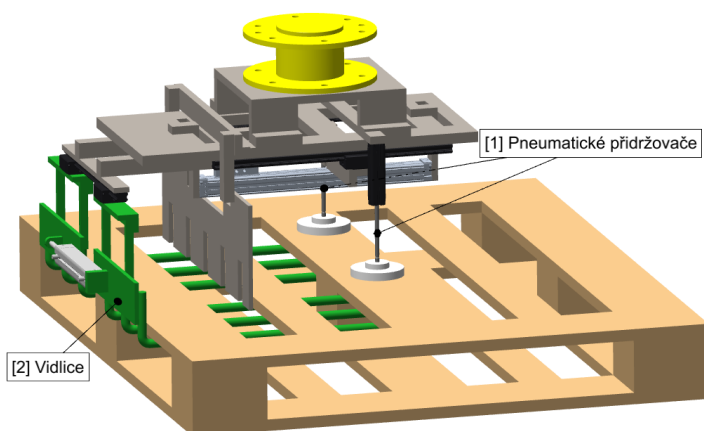
Manipulace s paletou

Pro manipulaci s paletou se vidlice rozevře pomocí pneumatického pohonu (pos.1) umístěného přímo na vidlici. Pohon disponuje aretací krajních poloh. Části vidlice jsou připevněny na vozíčcích, které jezdí po společné kolejnici HIWIN (pos.2). Vozíčky na kolejnici mají také aretované krájení polohy tak, aby došlo přesné poloze vidlic vzhledem k ose efektoru.



Obrázek 3.6 - Varianta B - nastavení vidlice

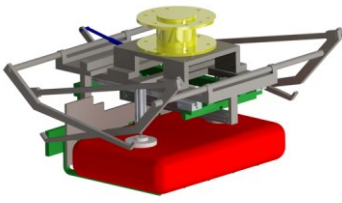
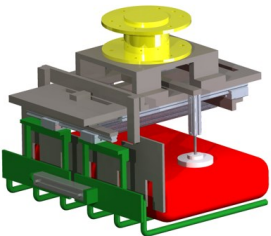
Poté proběhne sevření palety pneumatickými přidržovači (pos.1) proti vidlici (pos.2). Jednotlivé vidlice musí sahat alespoň do poloviny palety a zároveň do osy přtlaku přitlačovacích mechanismů.



Obrázek 3.7 - Varianta B - úchop palety

V tabulce 3.1 jsou pro porovnání vypsány základní parametry obou variant.

Tabulka 3.1 - Základní parametry variant

	Varianta A	Varianta B
		
Počet pohonů	4	4
Počet kolejnic	2	3
Počet vozíčků	2	4
Nároky na přesnost výroby	střední	vysoké
Půdorysná zástavba	0,59 m ²	0,45 m ²

4 Hodnotová analýza

V této kapitole je popsán způsob zhodnocení a výběr optimální varianty řešení efektoru pro další rozpracování. V tabulce 4.1 jsou popsána hodnoticí kritéria. V tabulce 4.2 je uvedena stupnice hodnocení jednotlivých kritérií.

Tabulka 4.1 - Popis hodnotících kritérií

Číslo	Kritérium	Popis kritéria
K1	Počet pohonů a kolejnic	Náklady spjaté s provozem, údržbou atd.
K2	Zástavbový prostor	Prostorová zástavba efektoru při manipulaci
K3	Hmotnost	Hmotnost
K4	Těžiště efektoru vzhledem k interface	Vliv silových účinků způsobených umístěním OM
K5	Složitost konstrukce/montáže	Počet dílů, nároky na přesnost apod.
K6	Cena	Cenový odhad

Tabulka 4.2 - Stupnice hodnocení

Výborná úroveň	5
Vysoká úroveň	4
Dobrá úroveň	3
Nízká úroveň	2
Nevyhovující úroveň	1

Pro váhu významnosti q byla zvolena lineární závislost. Pro žádnou volbu byla přiřazena hodnota 1, pro maximální počet voleb byla přiřazena hodnota 2. Tyto dva koncové body byly spojeny přímkou. Pro dané počty voleb se odečte váha významnosti z grafu 4.3.

Tabulka 4.3 - Určení váhy významnosti



Metodou párového porovnání se zjišťují preferenční vztahy dvojic kritérií. Úkolem je zjistit pro každé kritérium počet jeho preferencí vzhledem ke všem ostatním kritériím celku. Na základně počtu voleb se každému kritériu přiřadí míra významnosti podle závislosti z grafu 4.3.

Tabulka 4.4 - Porovnání kritérií v páru

Porovnávané páry kritérií						Počet voleb	Pořadí	Míra významnosti
	K1	K1	K1	K1	K1			
	K2	K3	K4	K5	K6	4	2.	1,67
K2		K2	K2	K2	K2			
K1		K3	K4	K5	K6	2,5	3.	1,42
K3	K3		K3	K3	K3			
K1	K2		K4	K5	K6	0	6	1
K4	K4	K4		K4	K4			
K1	K2	K3		K5	K6	2	4.-5.	1,33
K5	K5	K5	K5		K5			
K1	K2	K3	K4		K6	2	4.-5.	1,33
K6	K6	K6	K6	K6				
K1	K2	K3	K4	K5		4,5	1.	1,75

Obě varianty byly ohodnoceny dle stupnice uvedené v tabulce 4.5 podle úrovně plnění daného kritéria.

Tabulka 4.5 - Ohodnocení variant podle kritérií

Číslo	Kritérium	Var A	Var B
K1	Počet pohonů a kolejnic	4	3
K2	Zástavbový prostor	3	4
K3	Hmotnost	3	4
K4	Těžiště efektoru vzhledem k interface	5	3
K5	Složitost konstrukce/montáže	4	3
K6	Cena	4	3

Pro každou z variant byl vypočten celkový součet vážených indexů kritérií. Vážený index kritéria se vypočte součinem hodnoty kritéria a příslušné váhy významnosti.

Tabulka 4.6 - Vážený index varianty A

Varianta A			
Kritérium	Hodnota kritéria	Váha významnosti kritéria	Vážený index kritéria
K1	4	1,67	6,68
K2	3	1,42	4,26
K3	3	1	3
K4	5	1,33	6,65
K5	4	1,33	5,32
K6	4	1,75	7

32,91

Tabulka 4.7 - Vážený index varianty B

Varianta B			
Kritérium	Hodnota kritéria	Váha významnosti kritéria	Vážený index kritéria
K1	3	1,67	5,01
K2	4	1,42	5,68
K3	4	1	4
K4	3	1,33	3,99
K5	3	1,33	3,99
K6	3	1,75	5,25

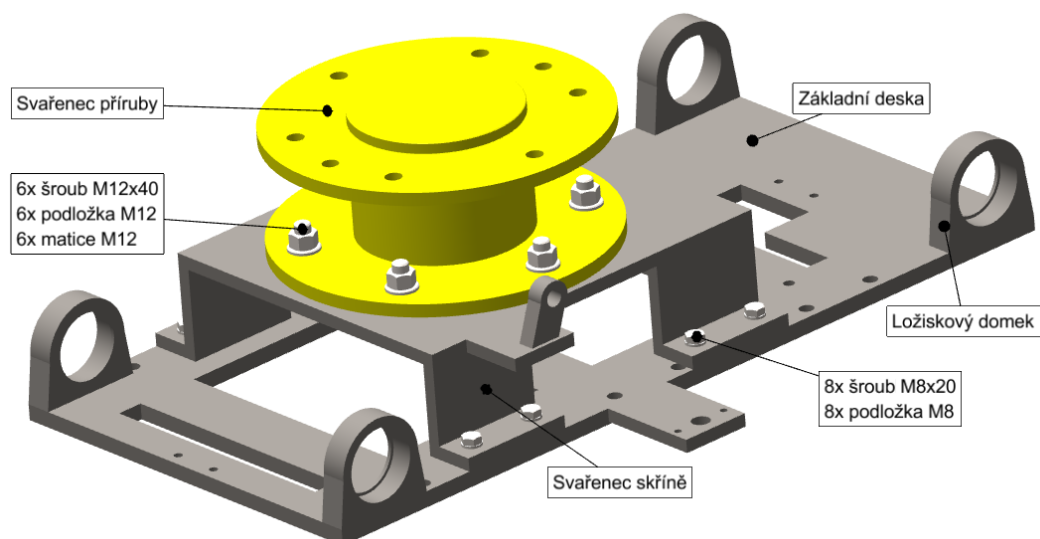
27,92

Z tabulek 4.6 a 4.7 vyplývá, že vyšší počet bodů získala varianta A, proto tato varianta byla vybrána pro další rozpracování.

5 Konstrukční řešení efektoru

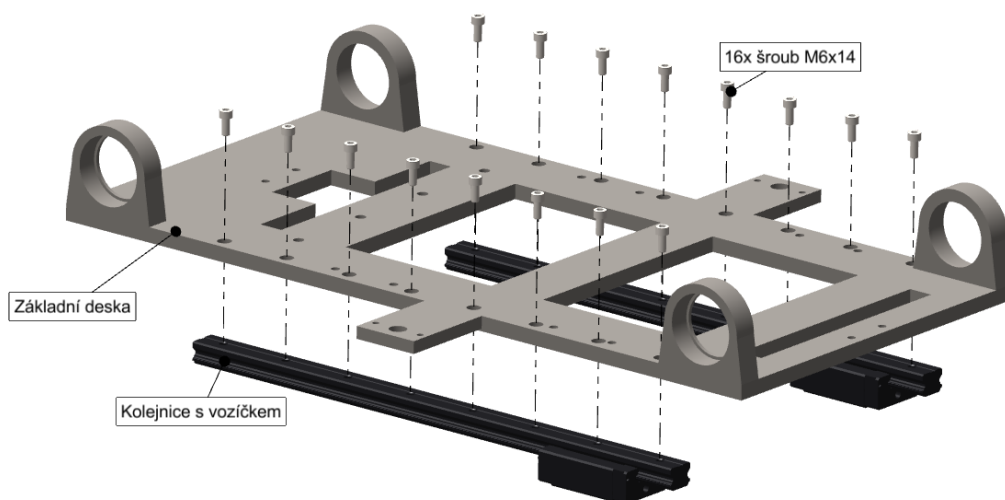
5.1 Základní deska

Na obrázku 5.1 je zobrazena nosná část efektoru. K základní desce je pomocí osmi šroubů M8 přišroubován svařenec skříně, který poskytuje prostor pro montáž pneumatického bloku efektoru. Horní deska svařence obsahuje oko pro uchycení kyvné příruby pneumatického pohonu. Ke skříně je šesti šrouby M12 s maticemi připevněn svařenec, který tvoří dvě příruby spojeny trubkou. Horní příruba je protikusem interfejsu robotu Fanuc, která k němu bude připevněna pomocí šesti šroubů M12 a dvěma kolíky 12x25. K základní desce jsou přivařeny čtyři ložiskové domky.



Obrázek 5.1 - Základní deska

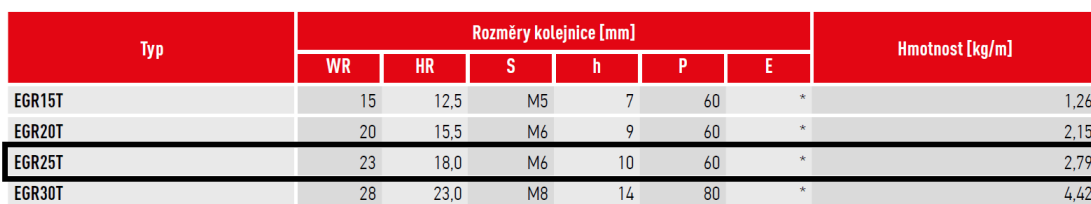
Zespolu základní desky jsou uchyceny dvě kolejnice HIWIN pomocí šestnácti zapuštěných šroubů M6 s vnitřním šestihranem. Rozteč děr pro šrouby je 60 mm. Vzdálenost poslední díry od hrany kolejnice je dána rozmezím výrobce. Kolejnice je nutno namontovat před přišroubování skříně k základní desce.



Obrázek 5.2 - Uchycení kolejnic

Základní parametry a rozměry kolejnice HIWIN EGR25T s otvory pro montáž zespolu.

Délka kolejnice 460 mm



Z důvodu momentu vyvozeného vidlicí a pytle budou použity rozšířené vozíčky. (viz kap. 6.4)

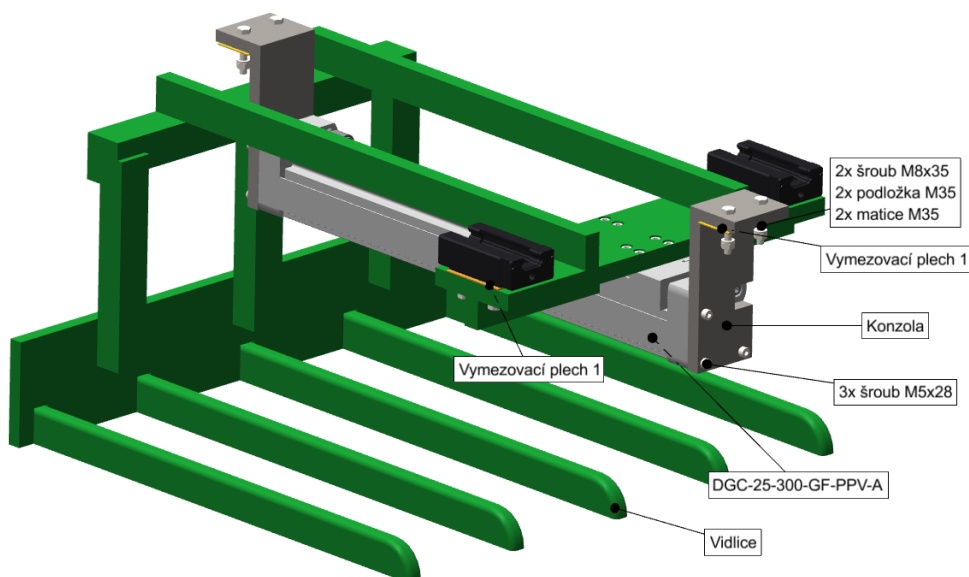
Typ	Montážní rozměry [mm]			Rozměry vozíku [mm]													Rozměry kolejnice [mm]								Šrouby pro kolejnici [mm]	Dynamická únosnost C_m [kN]	Statická únosnost C_i [kN]	Statický moment			Hmotnost	
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	G	MXL	K ₁	T	H ₂	H ₃	W _R	H _R	D	h	d	P	E	M _x [Nm]	M _y [Nm]				M _z [Nm]	Vozík [kg]	Kolejnice [kg/m]		
EGH15SA	24	4,5	9,5	34	26	4,0	-	23,1	40,7	5,7	M4x6	14,80	6,0	5,5	6	15	12,5	6	4,5	3,5	60	*	M3x16	5,35	9,40	80	40	40	0,09	1,25		
EGH15CA	24	4,5	9,5	34	26	4,0	26	39,8	57,4	5,7	M4x6	10,15	6,0	5,5	6	15	12,5	6	4,5	3,5	60	*	M3x16	7,83	16,19	130	100	100	0,15	1,25		
EGH20SA	28	6,0	11,0	42	32	5,0	-	29,0	50,6	12,0	M5x7	18,75	7,5	6,0	6	20	15,5	9,5	8,5	6,0	60	*	M5x16	7,23	12,74	130	60	60	0,15	2,08		
EGH20CA	28	6,0	11,0	42	32	5,0	32	48,1	69,7	12,0	M5x7	12,30	7,5	6,0	6	20	15,5	9,5	8,5	6,0	60	*	M5x16	10,31	21,13	220	160	160	0,24	2,08		
EGH25SA	33	7,0	12,5	48	35	6,5	-	35,5	61,1	12,0	M6x9	21,90	8,0	8,0	8	23	18,0	11	9,0	7,0	60	*	M6x20	11,40	19,50	230	120	120	0,25	2,67		
EGH25CA	33	7,0	12,5	48	35	6,5	35	59,0	84,6	12,0	M6x9	16,15	8,0	8,0	8	23	18,0	11	9,0	7,0	60	*	M6x20	16,27	32,40	380	320	320	0,41	2,67		
EGH30SA	42	10,0	16,0	60	40	10,0	-	41,5	71,5	12,0	M8x12	26,75	9,0	8,0	9	28	23,0	11	9,0	7,0	80	*	M6x25	16,42	28,10	400	210	210	0,45	4,35		
EGH30CA	42	10,0	16,0	60	40	10,0	40	70,1	100,1	12,0	M8x12	21,05	9,0	8,0	9	28	23,0	11	9,0	7,0	80	*	M6x25	23,70	47,46	680	550	550	0,76	4,35		

28

5.2 Vidlice

Vidlice pro odběr pytlů tvoří svařenec inspirovaný vidlemi vysokozdvížného vozíku upravený do tvaru C-háku. Jde o svařenec profilů obdélníkového průřezu a silného plechu. Vidle mají v místě dotyku s pytlíkem vnější zaoblení z důvodu zabránění mechanického poškození obalu pytlíku při manipulaci. Vidlice je připevněna k vozíčkům pomocí osmi šroubů M6x25.

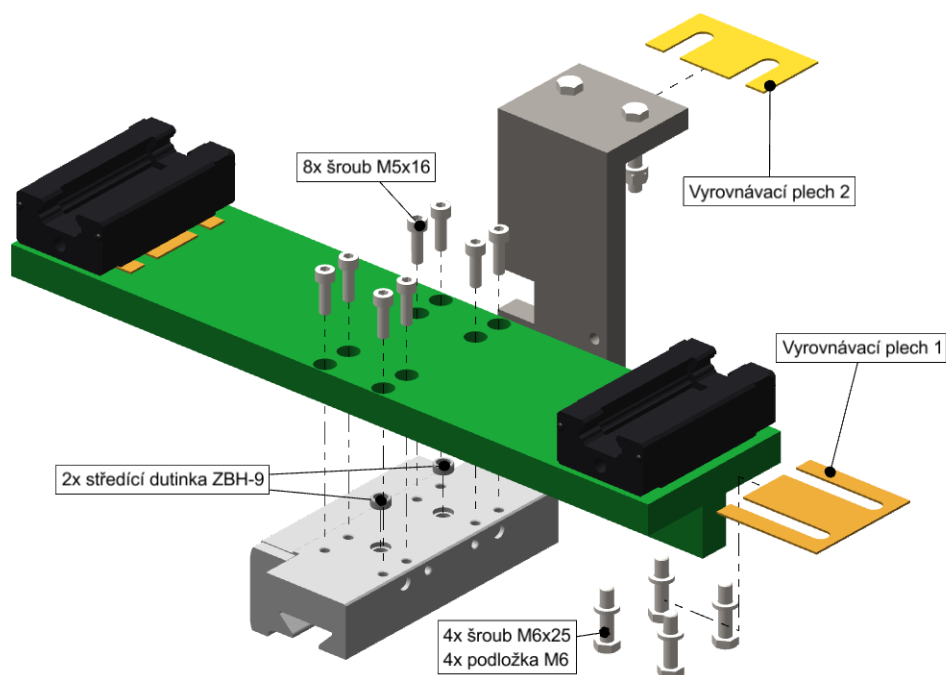
Vidlice je poháněna bezpístnicovým válcem. Válec je upevněn na dvě konzoly pomocí šesti šroubů M4x20. Tyto konzoly jsou přišroubovány k základní desce pomocí čtyř šroubů M6x35 zajištěnými maticemi. Vidlice je se saněmi válce propojena pomocí osmi šroubů M5x16 a dvou středících dutinek.



Obrázek 5.6 - Vidlice

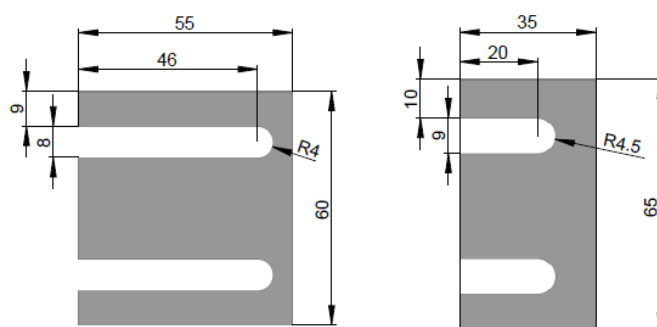
Seřizování

Z důvodu použití technologie svařování nelze zaručit dostatečnou přesnost vidlice. Nepřesnosti vzniklé při výrobě lze odstranit přidáváním nebo odebráním vymezovacích plechů. Tímto způsobem lze upravit uchycení ve dvou na sebe kolmých osách a zajistit tak bezproblémový provoz lineárního pojezdu a pneumatického válce. V sestavě jsou vymodelovány plechy o síle 1 mm. Tvar plechů je uzpůsoben tak, aby bylo možno seřizovat efektor bez nutnosti demontáže některých dílů. Šroubový spoj stačí povolit a upravit sílu podkládacích plechů podle potřeby.



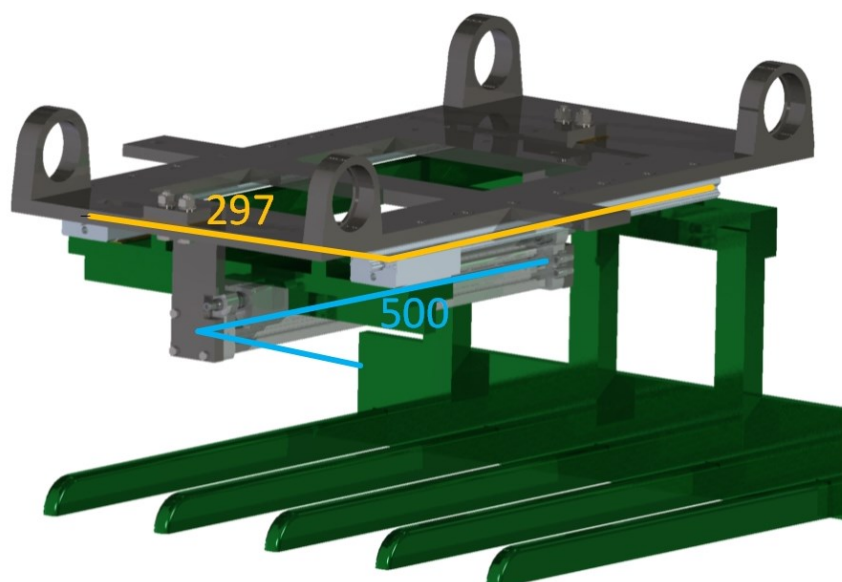
Obrázek 5.7 - Seřizování efektoru

Podkládací plechy jsou k dostání v široké nabídce tloušťek i materiálů.



Obrázek 5.8 - Půdorysné rozměry podkládacích plechů

Na obrázku 5.9 jsou znázorněny seřiditelné roviny. K bezproblémového chodu lineárních pojezdů a pohonu je nutno dosáhnout co největší rovnoběžnosti těchto rovin. Seřizování sklonu spojovací desky vozíčků je citlivější na přidávání a odebrání podkládacích plechů než seřizování sklonu pohonu vůči základní desce. Úhel sklonu získaného přidáním či odebráním plechu si lze předem spočítat aplikováním goniometrické funkce tangens při použití rozměrů zobrazených na obrázku.



Obrázek 5.9 - Zobrazení seřaditelných rovin

Výpočet potřebné síly pohonu vidlice

K výpočtu třecí síly mezi pytlíkem a vidlicí je nutno znát součinitele tření mezi ocelí a papírem. Tyto koeficienty jsou získávány pomocí zkoušek. Přesný součinitel pro ocel a papír pro výrobu pytlů nebyl nalezen, tudíž jsem se snažil najít co nejvíce podobnou dvojici materiálů. Vycházel jsem z těchto:

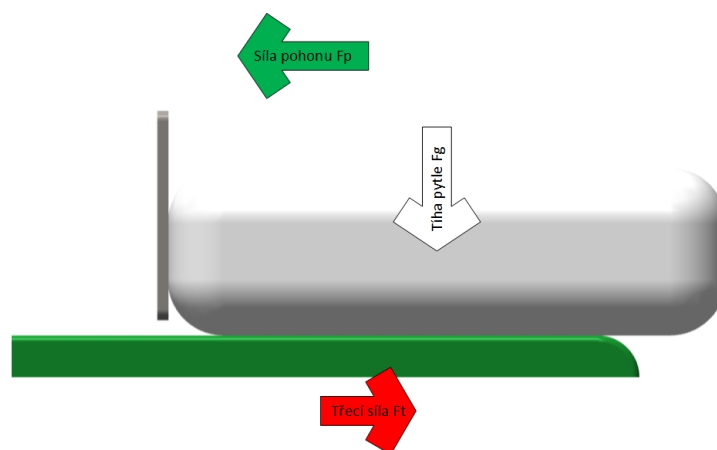
- Dřevo – kovy $\mu_s = 0,3$ [10]
- Dřevo – čistá ocel $\mu_s = 0,2 - 0,6$ [11]
- Papír – litina $\mu_s = 0,2$ [11]

Pro další výpočet byl zvolen součinitel klidového tření $\mu_s = 0,3$. Přítlačná síla F_n je shodná směrem i velikostí s tíhovou silou pytle.

$$F_N = F_g = m * g = 50 * 9,81 = 490,5 \text{ N}$$

$$F_t = F_N * \mu_s = 490,5 * 0,3 = 147,15 \text{ N}$$

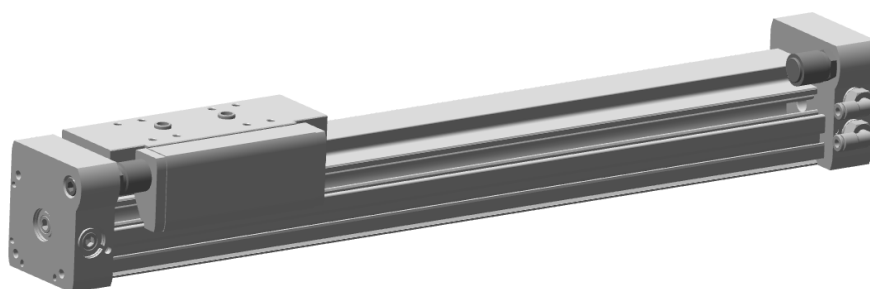
Pohon vidlice musí být schopný překonat třecí sílu F_t , která činí 147,15 N.



Obrázek 5.10 - Schéma výpočtu síly pohonu

Základní parametry pneumatického pohonu FESTO

- Typ DGC-25-300-GC-PPV-A
- Zdvih 300 mm
- Připojení pneumatiky G1/8
- Provozní tlak 2 - 8 bar
- Teoretická síla při 6 barech 295 N
- Hmotnost 2659 g [12]

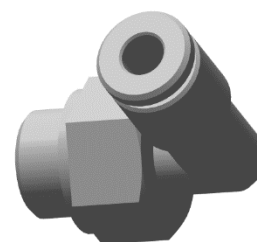


Obrázek 5.11 – Pohon DGC-25-300-GC-PPV-A

Rozměry a veškeré další informace k tomuto pneumatickému pohonu se nacházejí v datasheetu, který je přiložen k této práci jako příloha.

Šroubení

- Typ NPQH-L-G18-Q4-P10
- Světlost 3 mm
- Vnější hadice 4 mm



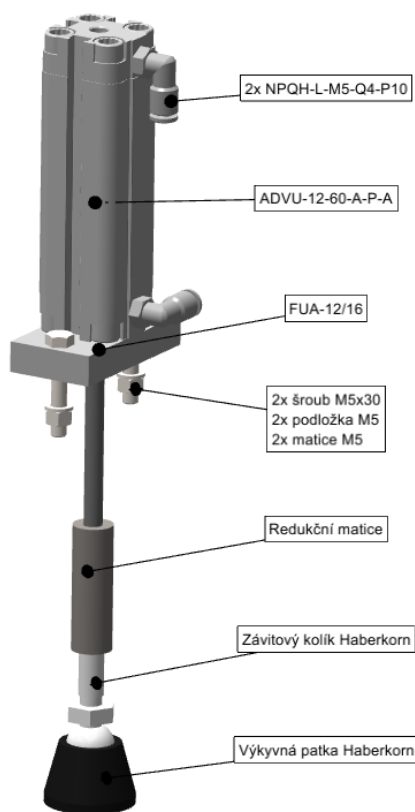
Obrázek 5.12 - Šroubení G1/8

- Další otočné 360° [12]

Rozměry a další parametry ke šroubení se nacházejí v datasheetu, který je přiložen k této práci jako příloha.

5.3 Přidržovací mechanismus

Tento mechanismus zajišťuje pozici pytle při manipulaci. Pneumatický válec je připevněn pomocí příruby k základní desce dvěma šrouby M5x30 zajištěnými maticemi. Na vnější závit pístnice je našroubována redukční matice s vnitřními závity M6-M8, do které je z druhé strany přišroubován závitový kolík Haberkorn s kulovým kloubem. Kulový kloub má rozsah vychýlení $\pm 20^\circ$. Na kulový kloub je nacvaknutá patka z plastu, který je zesílený skleněnými vlákny. Vychýlení patky má za úkol vykrýt nerovnosti způsobené obsahem pytle, aby nedocházelo k přičení pístnice ve válci. Tyto mechanismy se na efektoru vyskytují dva.



Obrázek 5.13 - Přidržovací mechanismus

Základní parametry pneumatického pohonu FESTO

- Typ ADVU-12-60-A-P-A
- Zdvih 60 mm
- Připojení pneumatiky M5
- Provozní tlak 1,2 - 10 bar
- Teoretická síla při 6 barech 68 N
- Hmotnost 177 g [12]

Šroubení

- Typ NPQH-L-M5-Q4-P10
- Světlost 3 mm
- Vnější hadice 4 mm
- Další otočné 360° [12]

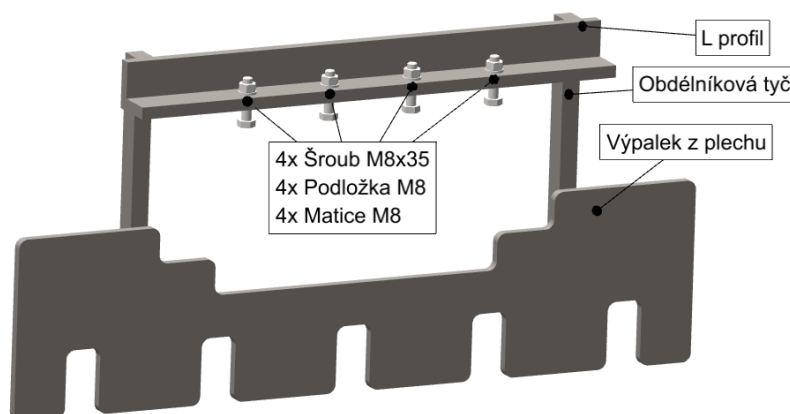


Obrázek 5.14 - Šroubení M5

Rozměry a další parametry ke šroubení se nacházejí v datasheetu, který je přiložen k této práci jako příloha.

5.4 Opěrná deska

Opěrnou desku tvoří svařenec, o který se opírá pytel při jeho vykládání. Svařenec je pomocí L profilu přišroubován k základní desce čtyřmi šrouby M8x35 zajištěnými maticemi. Hrany výpalku jsou zaoblené tak, aby při obrábění laserem či vodním paprskem bylo řezání plynulé.

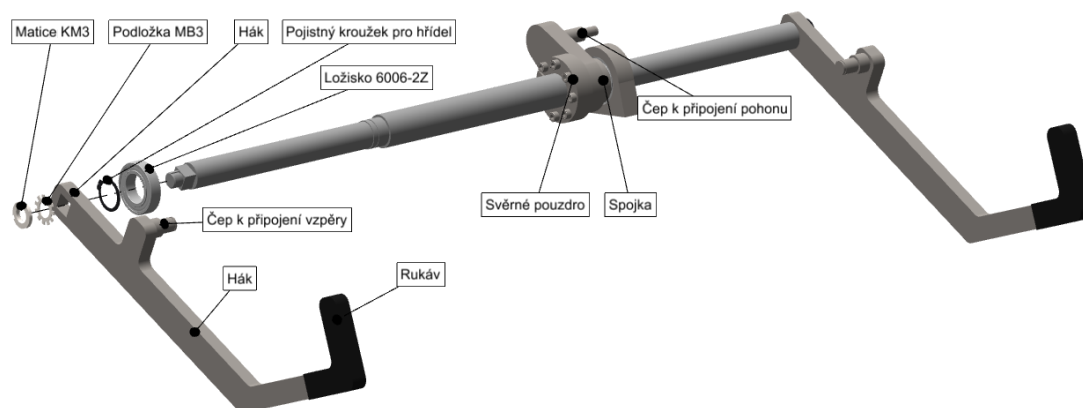


Obrázek 5.15 - Opěrná deska

5.5 Hřídele s háky

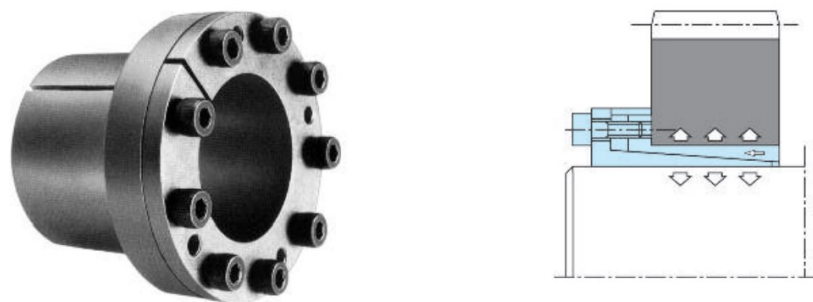
Hřídel je uložena ve dvou jednořadých kuličkových ložiscích. Ložisko je zajištěno pojistným kroužkem a osazením hřídele. Moment hřídele na háky je přenášen pomocí čtyřhranu. Hák je zajištěn proti axiálnímu posuvu díky osazení a kruhové matici KM3 se zářezy s pojistnou podložkou MB3. Hák je vyráběn výpalkem z plechu. Hrany výpalku jsou zaoblené tak, aby při obrábění laserem či vodním paprskem bylo řezání plynulé. Na hák je přivařen čep pro připojení vzpěr, kterými se obě hřídele spráhnou dohromady. Na konci háku v místě styku s paletou je navlečen gumový rukáv, aby bylo zabráněno mechanickému poškození palety. Krouticí moment na hřídel je přiváděn pomocí svěrného spojení s přírubou, které je propojeno pomocí spojky s čepem s pneumatickým pohonem. Svěrné spojení pro tento průměr hřídelí je schopno přenášet moment až 500 Nm, což je pro tuto aplikaci naprosto dostačující.

Druhá hřídel s háky je delší, aby nedošlo ke kolizi háků, jinak je totožná. Druhá hřídel je poháněna pomocí vzpěr, tudíž neobsahuje svěrný spoj.



Obrázek 5.16 - Hřídel

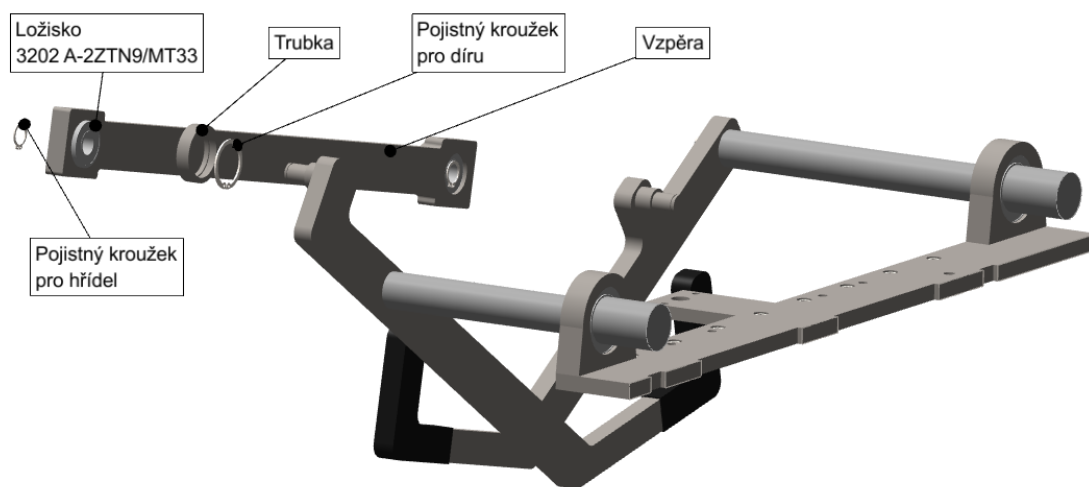
Požadována drsnost hřídele v místě připojení svěrného pouzdra je $R_a = 3,2$. Maximální doporučená tolerance pro hřídel je h8, pro náboj pak H8.^[14] Přesné rozměry, parametry, způsob instalace apod. jsou v datasheetu, který je součástí příloh této práce. Při instalaci svěrného pouzdra je nutno dbát na dodržení správného úhlu natočení spojky vůči hákům, který je 5° .



Obrázek 5.17 - Svěrné spojení[14]

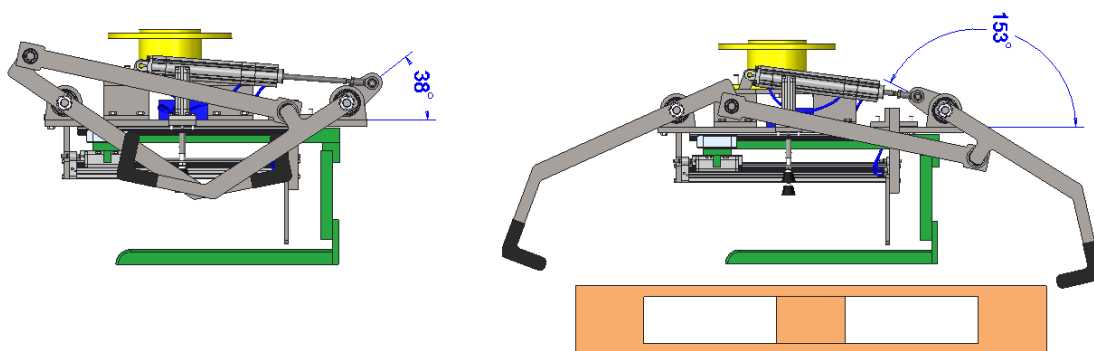
5.6 Vzpěra

Těleso vzpěry je tvořeno výpalkem z plechu, ke kterému je přivařena trubka. Hrany výpalku jsou zaoblené tak, aby při obrábění laserem či vodním paprskem bylo řezání plynulé. Tento svařenec tvoří ložiskový domek pro dvouřadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. Axiální posuv vzpěry je zajištěn osazením proti ložisku a pojistnými kroužky pro hřídel a pro díru.



Obrázek 5.18 - Uchycení vzpěry na hácích

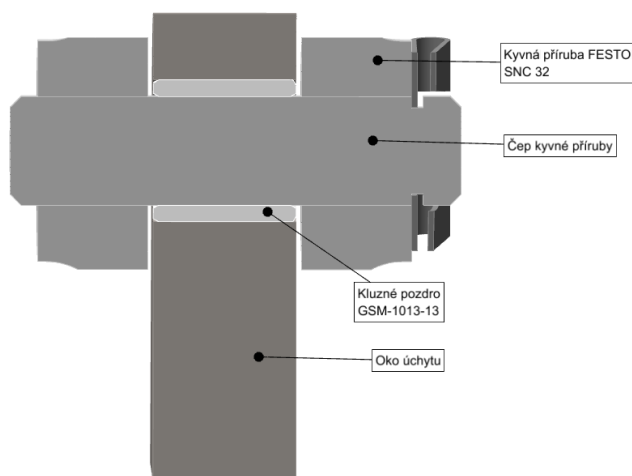
Délka vzpěry byla navržena tak, aby byl úhel háků shodný v místě úchopu palety. Na obr. 5.19 lze vidět úhlový rozsah háků při složeném stavu a při maximálním otevření vzhledem k základní desce.



Obrázek 5.19 - Rozsah natočení háků

5.7 Pohon hřídele

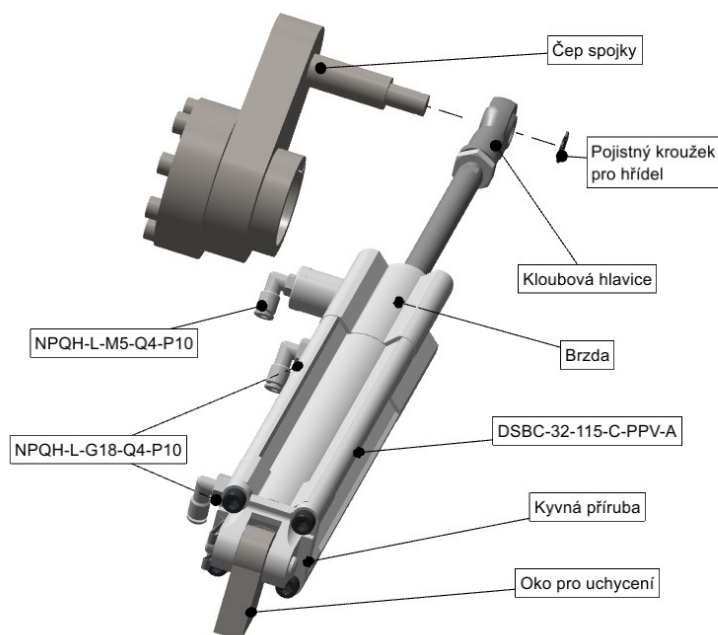
Pneumatický pohon s brzdou je uchycen přes kyvnou přírubu Festo v ocelovém oku přivařeném na nosné konstrukci efektoru. Na obrázku 5.20 je znázorněn řez uložení čepu kyvné příruby, který se pohybuje v kluzném pouzdru nalisovaném v oku. Osový čep je zajištěn proti pootočení upínacími kolíky. Rozměry a způsoby uchycení kyvné příruby jsou uvedeny v datasheetu válce DSBC, který je součástí příloh práce.



Obrázek 5.20 - Řez uchycení kyvné příruby

Pístnice pneumatického válce je rozšířena o kloubovou hlavici, která je propojena s čepem navařeným na spojce svěrného spojení. Kloubová hlavice je schopna vykompenzovat výrobní a montážní nepřesnosti. Použití kloubové hlavice umožnilo odstranit dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, které bylo v původním řešení konstrukce toho uzlu umístěno ve spojce. Čep spojky je axiálně zajištěn pojistným kroužkem pro hřídel. Pneumatický pohon je rozšířen o brzdu, jelikož pohon není neustále v pracovním cyklu a proto není nutno neustále přivádět stlačený vzduch do válce. Šroubení pro připojení

vzduchu k brzdě je shodné, jako u pohonu DSBC, tedy M5. Šroubení pro pohon válce je G18, viz kapitola 5.2. Oba tyto typy šroubení mají výstup pro připojení vzduchu s průměrem hadice 4 mm.



Obrázek 5.21 - Pohon hřídele

Základní parametry pneumatického pohonu FESTO

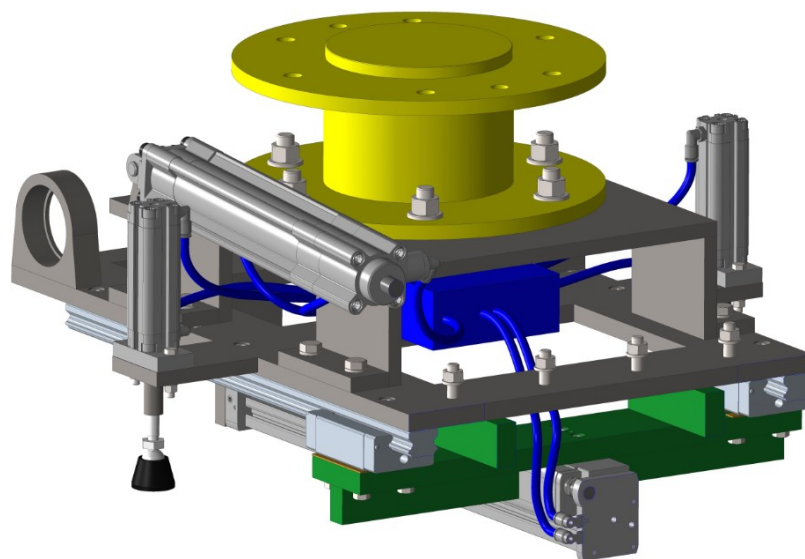
• Typ	DSBC-32-115-C-PPV-A
• Zdvih	115 mm
• Připojení pneumatiky	M5,Q4
• Provozní tlak	1,5 - 10 bar
• Teoretická síla při 6 barech	483 N
• Síla brzdy	600 N
• Hmotnost	1033 g [12]

Rozměry a veškeré další informace k tomuto pneumatickému pohonu se nacházejí v datasheetu, který je přiložen k této práci jako příloha.

5.8 Pneumatický blok

Po konzultaci s vedoucím práce nebude blok pneumatiky řešen do míry volby rozváděčů, ventilů apod. Nicméně v modelu jsou vymodelovány hadice pomocí modulu

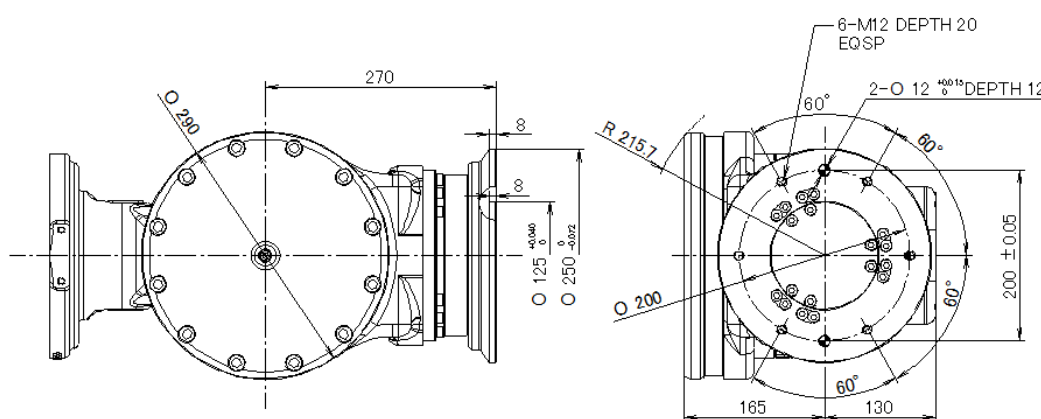
Piping. Ze znázornění vedení hadic je zřejmé, že nikde nedochází ke kolizím ani k nepovoleným poloměrům ohybu hadic. Hadice vedoucí od bezpístnicového válce by měly být uchyceny k základní desce, aby nedocházelo ke kolizím se saněmi.



Obrázek 5.22 - Vizualizace hadic

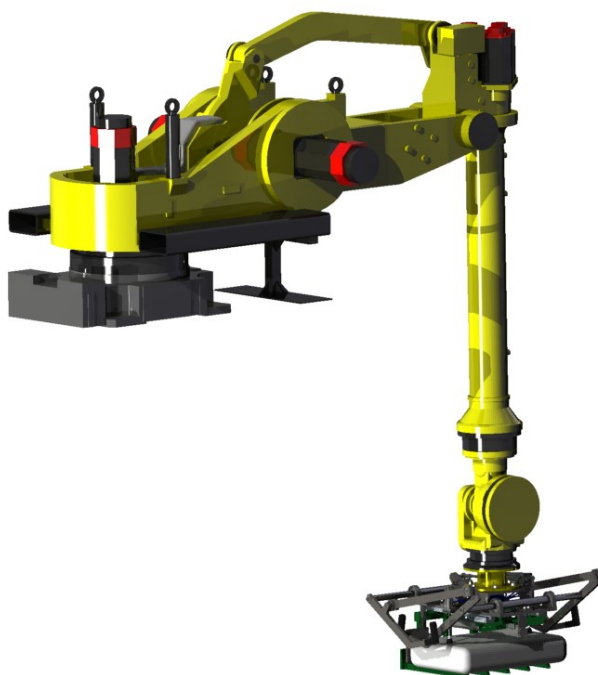
5.9 Připojení efektoru k robotu

Připojovací rozměry efektoru jsou stanoveny na základě normy ISO 9409-1-200-6-M12. Efektor je připevněn šesti šrouby M12 a pojištěn dvěma kolíky. Na obrázku 5.23 jsou zobrazeny připojovací rozměry robotu M-900iA/150P.



Obrázek 5.23 - Rozměry interfejsu robotu

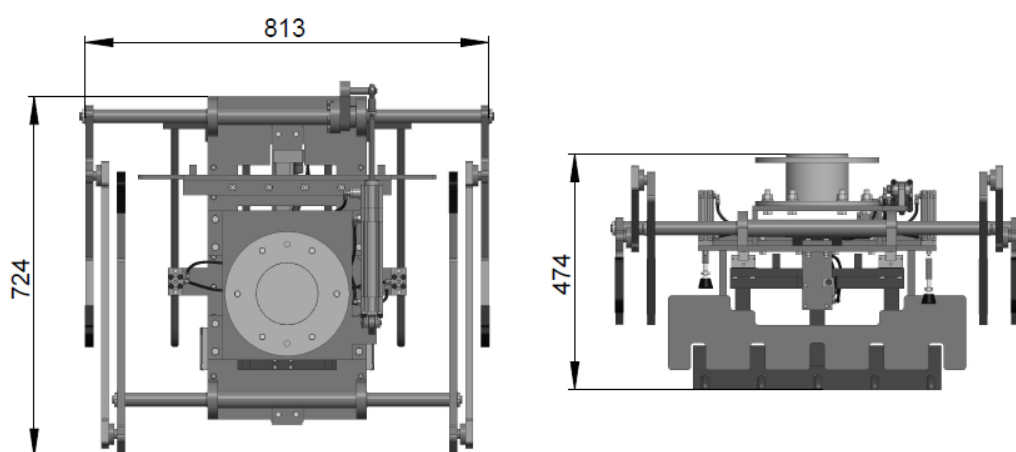
Na obrázku 5.24 je zobrazen model robotu M-900iA/150P s připojeným efektem. Robot je určen k montáži na podstavec o výšce 1,2 m. Pracovní rádius robotu je 3507 mm.



Obrázek 5.24 - Vizualizace robotu s efektem

5.10 Parametry efektoru

Výsledná půdorysná zástavba efektoru je 813x724 mm. Výška efektoru je 474 mm. Efektor pohánějí čtyři pneumatické pohony. Celková hmotnost efektoru je 90,7 kg. Na vyráběné díly byla použita ocel 11 343 a hliníková slitina EN 7022.



Obrázek 5.25 - Finální rozměry efektoru

5.11 Utahovací momenty šroubů

V tabulce 5.1 je zobrazen přehled utahovacích momentů pro šrouby z uhlíkové a legované oceli.[13] Uvedené hodnoty slouží jako maximální utahovací momenty. Minimální hodnoty bývají o 7% nižší.

Tabulka 5.1 - Doporučené utahovací momenty [13]

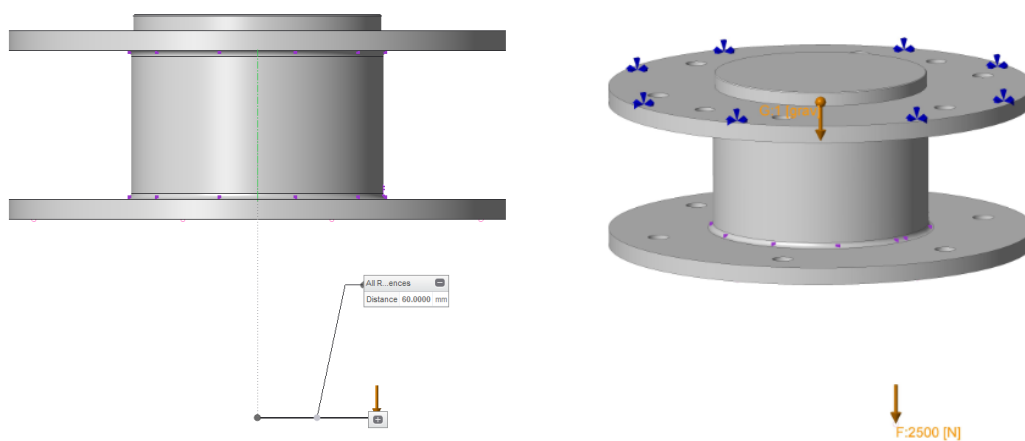
Mu utahovací moment (N·m) 1 N = 0,102 Kg
 Fo osová síla ve šroubu (N)
 D jmenovitý průměr (mm)
 R rozteč závitu - stoupání (mm)

pevnost		5.8		8.8		10.9		12.9	
D	R	Mu N·m	Fo N	Mu N·m	Fo N	Mu N·m	Fo N	Mu N·m	Fo N
M 6	1	6,4	5448	9,7	8302	14,3	12194	16,7	14269
M 8	1,25	16,1	10003	24,5	15242	35,9	22388	42	26198
M10	1,5	31,8	15930	48,4	24275	71	35655	83	41724
M12	1,75	54,9	23231	84	35401	123	51995	144	60845
M14	2	88	31905	133	48618	196	71408	229	83563
M16	2	137	43939	209	66955	307	98340	359	115079
M18	2,5	188	53373	286	81330	420	119454	492	130787
M20	20,5	266	68655	406	104617	596	153657	698	179811
M22	2,5	366	85857	588	130830	820	192157	960	224868
M24	3	459	98863	699	150649	1027	221266	1202	258928
M27	3	681	130259	1038	198491	1524	291534	1784	341157
M30	3,5	924	158263	1408	241163	2069	354309	2421	414500
M33	3,5	1256	197412	1914	300819	2811	441828	3290	517033
M36	4	1612	231573	2456	352873	3607	518282	4221	606501
M39	4	2094	278747	3191	424342	4686	623253	5484	729339
M42	4,5	2580	318567	3931	485435	5773	772983	6756	834342
M45	4,5	3232	373375	4925	568953	7234	835650	8465	977888
M48	5	3903	419813	5948	639716	8736	939582	10222	1099511
M52	5	5027	503841	7661	767757	11251	1127644	13166	1319583
M56	5,5	6262	581690	9543	886385	14016	1301879	16401	1523475

6 Pevnostní výpočty

6.1 Příruba

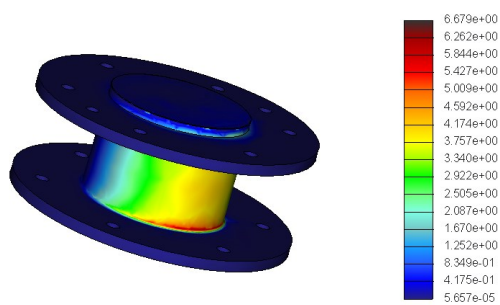
Tato sestava je svařenec tří dílů. Před pevnostní analýzou bylo provedeno sloučení dílů sestavy do jedné součásti a v místech svarů bylo přidáno zaoblení k eliminaci napěťových špiček. V těchto místech byla také zhuštěna výpočetní síť. Působíště síly je umístěno na základě polohy těžiště efektoru s OM. Síla demonstruje tíhovou sílu od efektoru a OM a dynamické síly vyvozené zrychlováním efektoru.



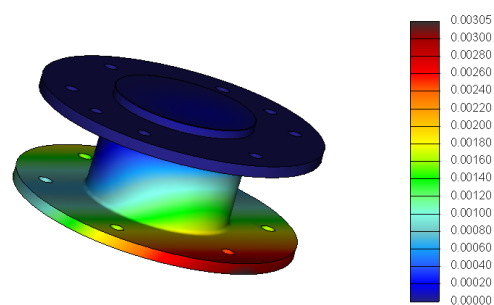
Obrázek 6.1 - Výpočtový model pro svařenec příruby

- | | |
|---|-----------------|
| • Materiál | 11 353, 11 503 |
| • Mez kluzu materiálu | 235, 245 MPa[5] |
| • Dovolené napětí s ohledem na bezpečnost $k=2$ | 117,5 MPa |

Na obr. 6.3 můžeme vidět znázorněno maximální napětí na součásti, které je menší než povolených 117,5 MPa. Na obr. 6.2 je ukázana maximální deformace [mm].



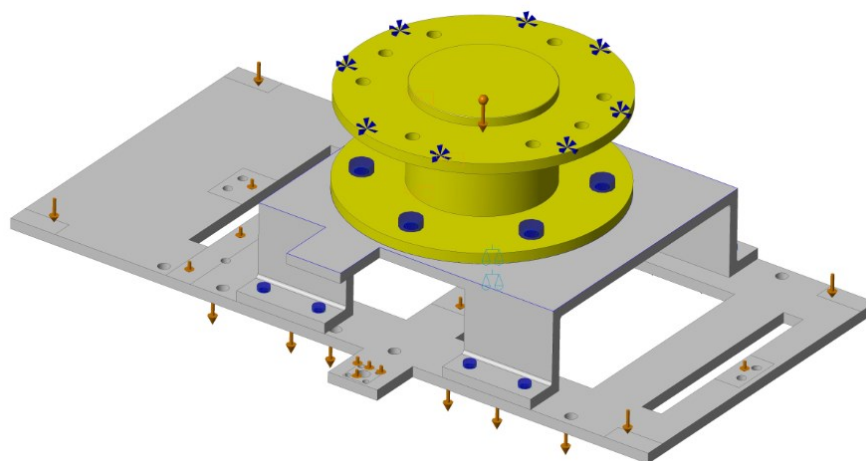
Obrázek 6.3 - Maximální napětí příruby



Obrázek 6.2 - Maximální deformace příruby

6.2 Skříň

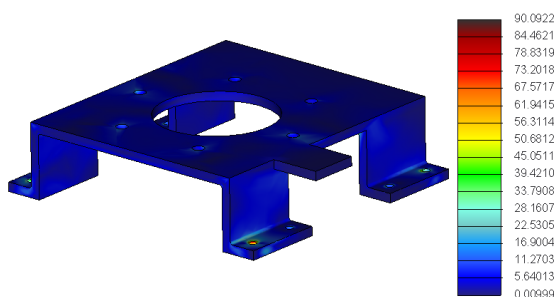
Sestava svařence plechů o tloušťce 10 mm. Před pevnostní analýzou bylo provedeno sloučení dílů sestavy do jedné součásti a v místech svarů bylo přidáno zaoblení k eliminaci napět'ových špiček. V těchto místech byla také zhuštěna výpočetní síť. Svařenec byl pomocí kontaktů a šroubů s předpětím připevněn k přírubě a základní desce, na kterou byly aplikovány veškeré zatížení vzniklé od OM a ostatních konstrukčních bloků efektoru.



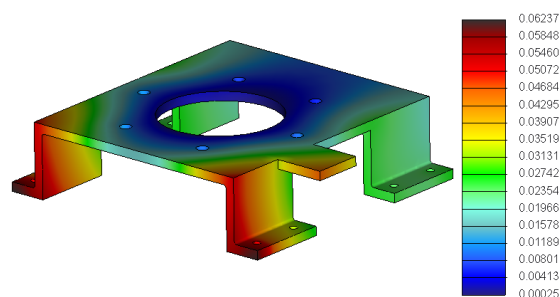
Obrázek 6.4 - Výpočtovný model svařence skříně

• Materiál	11 375
• Mez kluzu materiálu	235 MPa[5]
• Dovolené napětí s ohledem na bezpečnost $k=2$	117,5 MPa

Na obr. 6.6 můžeme vidět znázorněno maximální napětí na součásti, které je menší než povolených 117,5 MPa. Na obr. 6.5 je ukázána maximální deformace [mm].

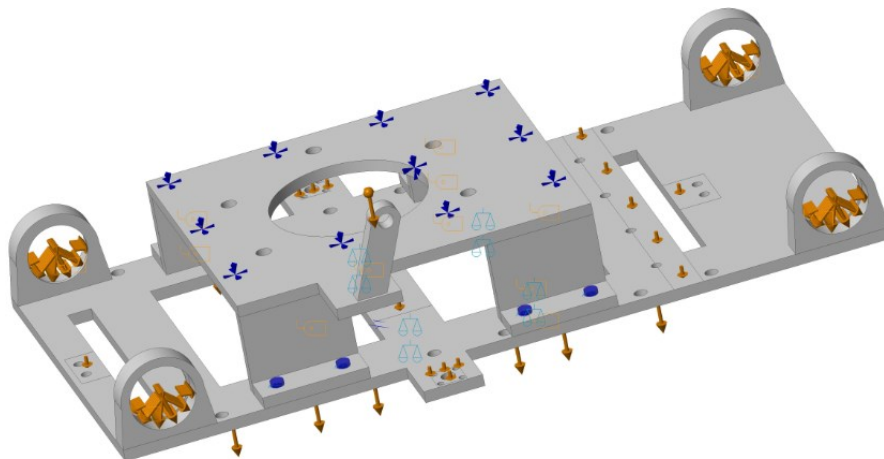


Obrázek 6.6 – Maximální napětí skříně



Obrázek 6.5 – Maximální deformace skříně

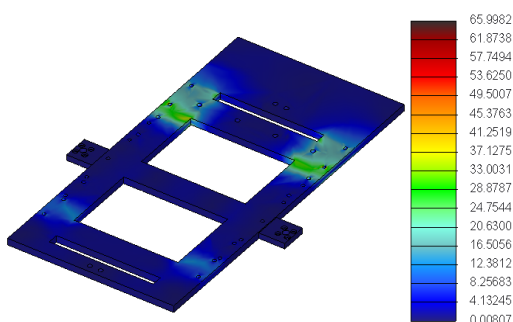
Součást tvořena výpalkem z plechu tloušťky 10 mm. Pomocí kontaktů a předepjatých šroubů bylo nadefinováno připojení k svařenci skříně. Na obrázku 6.7 jsou vidět plošné regiony, na které byly vyneseny veškeré gravitační a dynamické síly vzniklé od OM a dalších částí konstrukce efektoru.



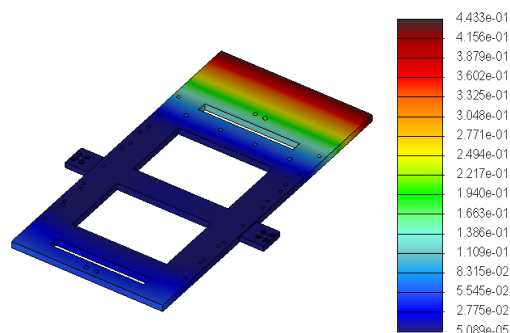
Obrázek 6.7 - Výpočtový model základní desky

• Materiál	11 353
• Mez kluzu materiálu	235 MPa[5]
• Dovolené napětí s ohledem na bezpečnost $k=2$	117,5 MPa

Na obr. 6.9 můžeme vidět znázorněno maximální napětí na součásti, které je menší než povolených 117,5 [MPa]. Na obr. 6.8 je ukázána maximální deformace [mm].



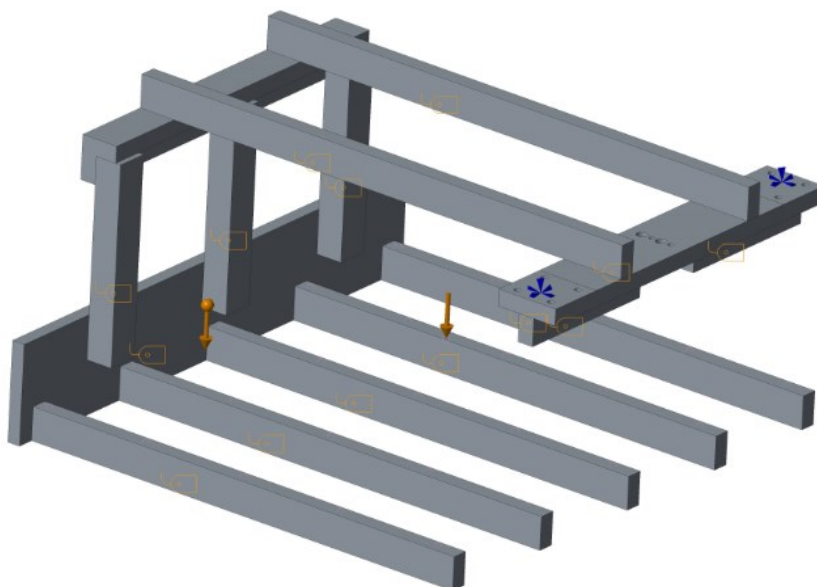
Obrázek 6.9 – Maximální napětí desky



Obrázek 6.8 – Maximální deformace desky

6.4 Vidlice

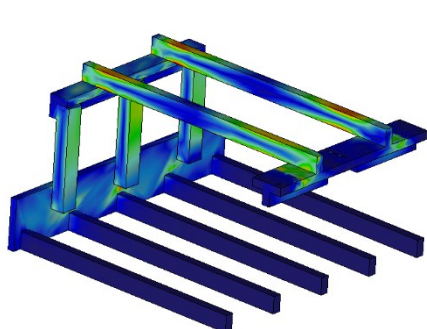
Svařenec tyčí obdélníkových průřezů a plechu. Do těžiště OM byla zanesena síla, která byla pomocí rigid link přenesena na plochu vidlí. Pomocí plošných regionů je svařenec zavazben v místě úchyty k vozíčkům kolejnic.



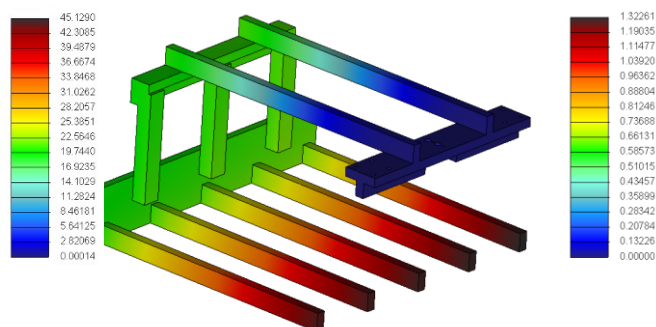
Obrázek 6.10 - Výpočtový model vidlice

- | | |
|---|-----------------|
| • Materiál | 11 375, 11 503 |
| • Mez kluzu materiálu | 196, 245 MPa[5] |
| • Dovolené napětí s ohledem na bezpečnost $k=2$ | 98 MPa |

Na obr. 6.11 můžeme vidět znázorněno maximální napětí na součásti, které je menší než povolených 98 [MPa]. Na obr. 6.12 je ukázána maximální deformace [mm].



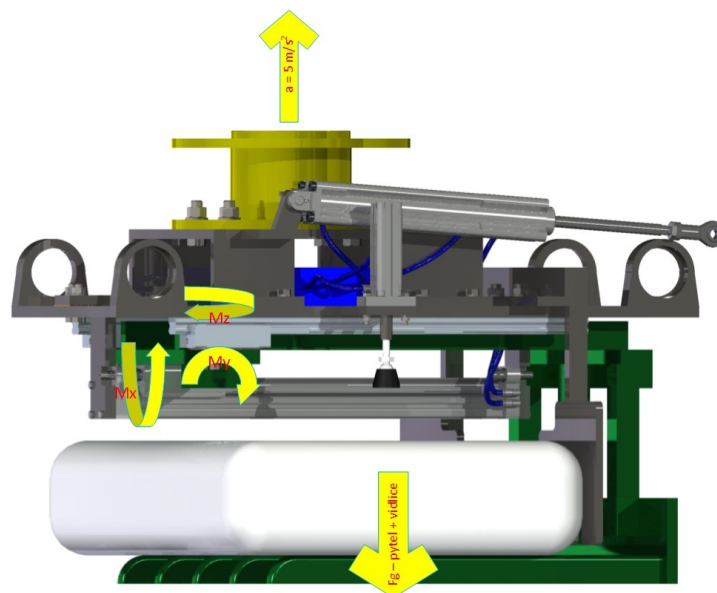
Obrázek 6.11 – Maximální napětí vidlice



Obrázek 6.12 – Maximální deformace vidlice

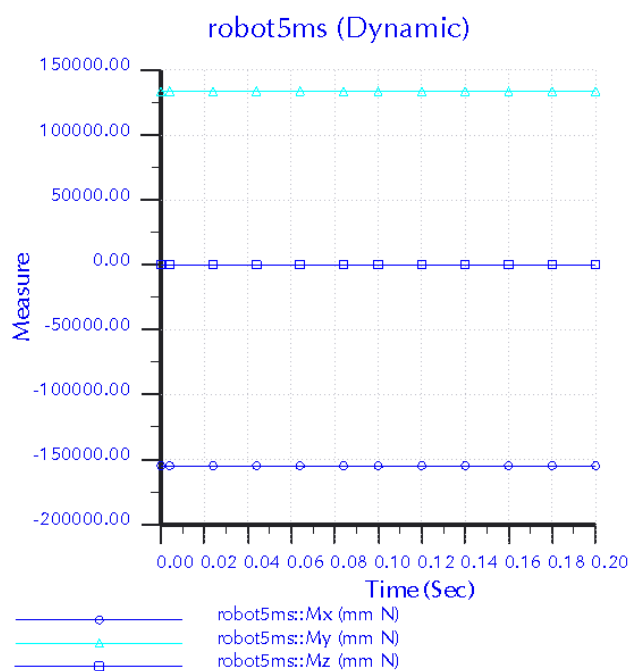
Analýza klopných momentů na vozičky

Výpočet klopných momentů byl proveden v modulu mechanismů v Creu. Do dynamické analýzy byl zadán servomotor se zrychlením 5 m/s^2 , který simuluje zrychlení koncového bodu robotu. Působící moment na voziček je vyvolán tíhovou silou vidlice a pytle (dohromady 65 kg) a silou působící proti zrychlení robotu.



Obrázek 6.13 - Schéma výpočtů klopných momentů na vozičky

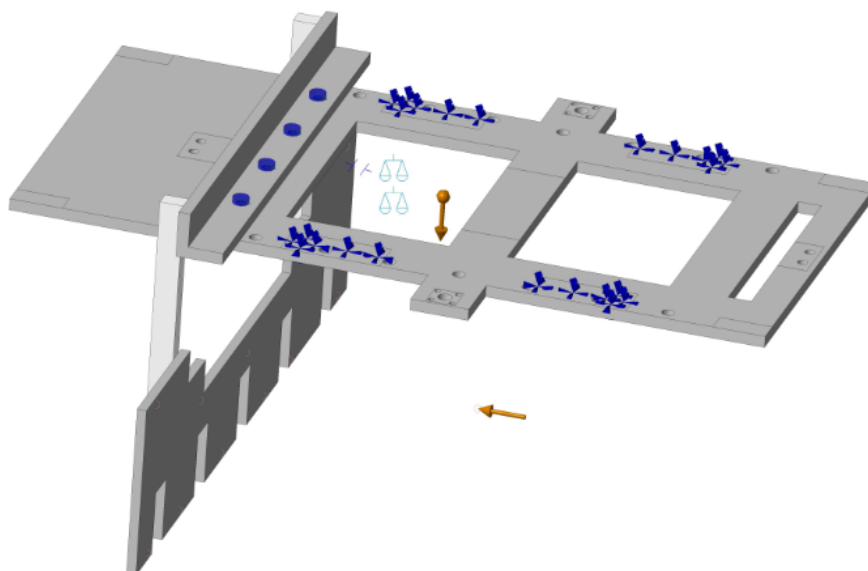
Výsledná velikost momentů vedla k použití rozšířených verzí voziček EGH25CA.



Obrázek 6.14 - Výsledky analýzy klopných momentů

6.5 Opěrná deska

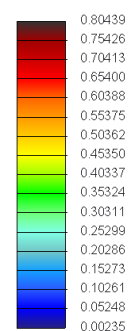
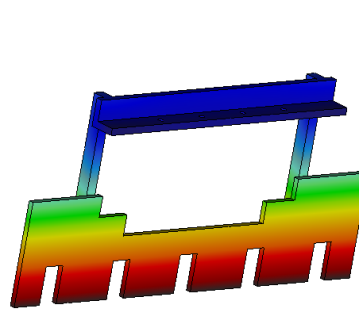
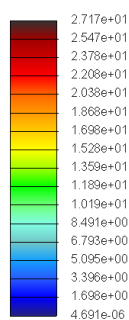
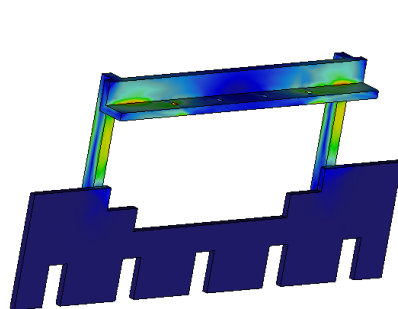
Sestavu opěrné desky tvoří svařenec z L profilu, tyče obdélníkového průřezu a výpalku z plechu. Svařenec byl pomocí kontaktu a předepjatých šroubů uchycen k základní desce. V těžišti OM byla vynesena síla, která vzniká působením pneumatického pohonu při vykládání OM. Tato síla byla přenesena na plochu desky pomocí funkce rigid link.



Obrázek 6.15 - Výpočtový model opěrné desky

- Materiál 11 375
- Mez kluzu materiálu 196 MPa[5]
- Dovolené napětí s ohledem na bezpečnost $k=2$ 98 MPa

Na obr. 6.16 můžeme vidět znázorněno maximální napětí na součásti, které je menší než povolených 98 [MPa]. Na obr. 6.17 je ukázána maximální deformace [mm].

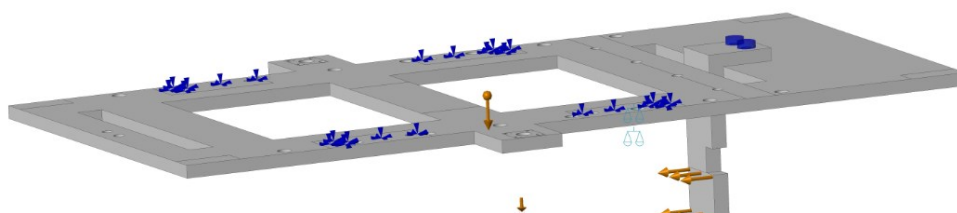


Obrázek 6.16 – Maximální napětí op. desky

Obrázek 6.17 – Maximální deformace op. desky

6.6 Držák bezpístnicového pohonu

Svařenec držáku pístnice byl pomocí kontaktů a šroubů s maticemi připevněn k základní desce. Na ploše uchycení válce byl vytvořen plošný region, na který byla zavedena síla, kterou je schopný vyvinout bezpístnicový pohon. Základní deska byla zavazbena v místě šroubového spojení se svařencem skříně, kde byly vytvořeny plošné regiony.



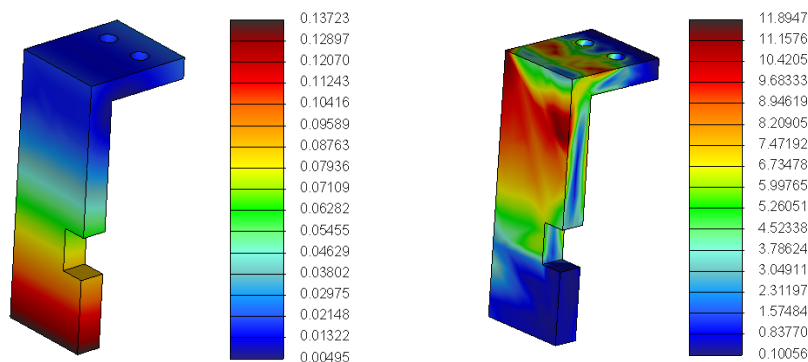
Obrázek 6.18 - Výpočtový model držáku bezpíst. pohonu

Držáky pístnice se vyskytují ve dvojici proti sobě, tím pádem je jeden vždy namáhám opačnou silou než druhý. Analýzy byly provedeny na stejném svařenci, jelikož se oba držáky shodují v konstrukci i uchycení.

- Materiál 11 375
- Mez kluzu materiálu 196 MPa[5]
- Dovolené napětí s ohledem na bezpečnost $k=2$ 98 MPa

a) při odtlačování

Na obr. 6.19 můžeme vidět znázorněno maximální napětí na součásti při odtlačování, které je menší než povolených 98 [MPa]. Na obr. 6.20 je ukázána maximální deformace při odtlačování [mm].

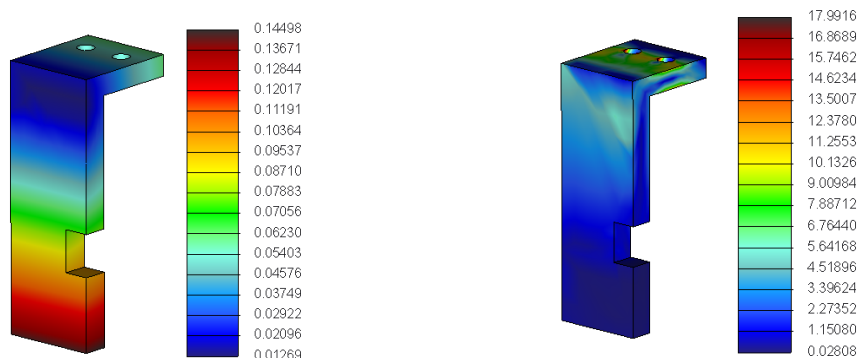


Obrázek 6.20 – Maximální napětí držáku a)

Obrázek 6.19 – Maximální deformace držáku a)

b) při stahování

Na obr. 6.21 můžeme vidět znázorněno maximální napětí na součásti při stahování, které je menší než povolených 98 [MPa]. Na obr. 6.22 je ukázána maximální deformace při stahování [mm].



Obrázek 6.22 – Maximální napětí držáku b)

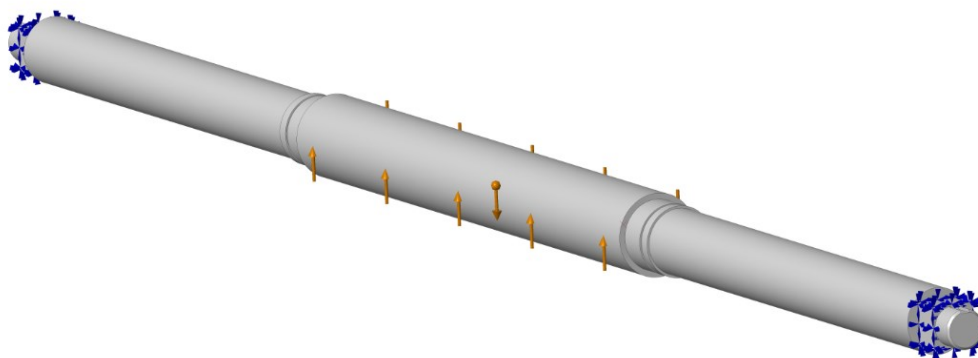
Obrázek 6.21 – Maximální deformace držáku b)

6.7 Hřídel

Hřídel je uložena ve dvou ložiscích. Je namáhána na krut při svírání palety a na ohyb, který je způsoben gravitační silou od palety a háků. Tyto dva způsoby namáhání jsou analyzovány jednotlivě. Protilehlá hřídel je shodná až na délkový rozměr. Jelikož je kratší, tak na ni silové účinky budou působit příznivěji, tudíž provádění dalších analýz není nutné.

a) krut

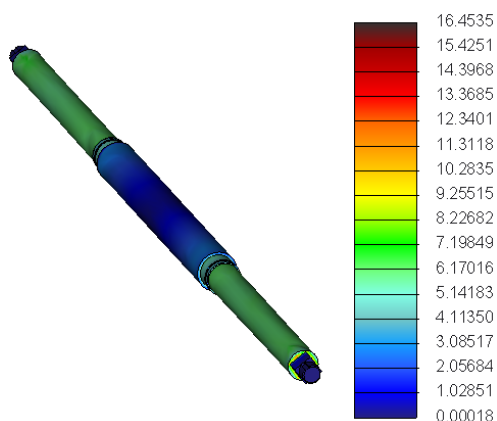
Na průměr instalace svěrného spojení byl zaveden moment 30 Nm. V místě připojení háků byl model zavazben. Toto simuluje situaci, kdy se háky opírají o paletu.



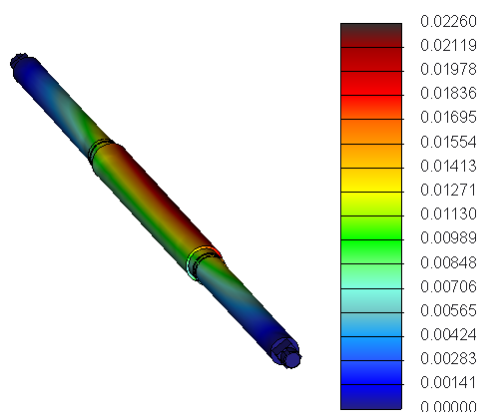
Obrázek 6.23 - Výpočtový model hřídele namáhané na krut

- Materiál 11 503
- Mez kluzu materiálu 245 MPa[5]
- Dovolené napětí s ohledem na bezpečnost $k=2$ 122,5 MPa

Na obr. 6.24 můžeme vidět znázorněno maximální napětí na součásti, které je menší než povolených 122,5 [MPa]. Na obr. 6.25 je ukázana maximální deformace [mm].



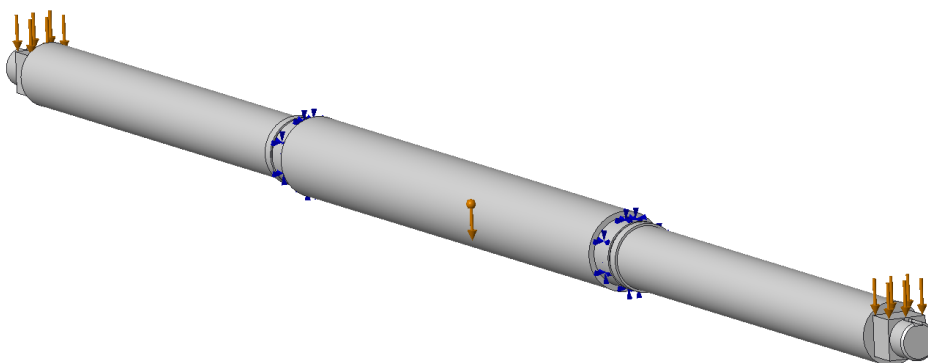
Obrázek 6.24 – Maximální napětí hřídele - krut



Obrázek 6.25 - -Maximální deformace hřídele - krut

b) ohyb

Hřídel byla zavazbena v místě uložení v ložiscích pomocí plošných regionů. Na konce hřídele byla zavedena síla 300 N. Tato síla demonstruje vliv gravitačního působení palety a háků připojených na hřídel.



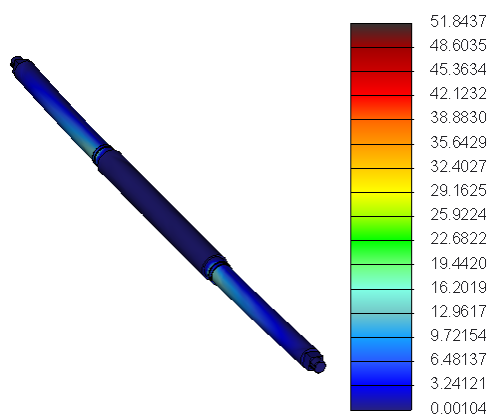
Obrázek 6.26 - Výpočtový model hřídele namáhané na ohyb

- Materiál 11 503
- Mez kluzu materiálu 245 MPa[5]

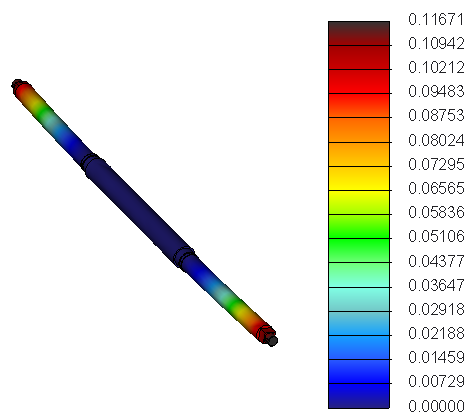
- Dovolené napětí s ohledem na bezpečnost $k=2$

122,5 MPa

Na obr. 6.27 můžeme vidět znázorněno maximální napětí na součásti, které je menší než povolených 122,5 [MPa]. Na obr. 6.28 je ukázana maximální deformace [mm].



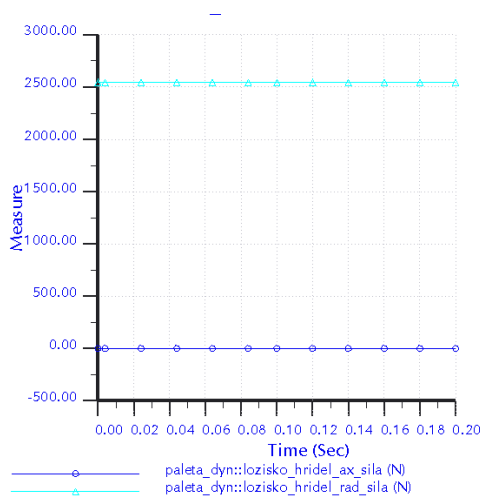
Obrázek 6.27 – Maximální napětí hřídele - ohyb



Obrázek 6.28 – Maximální deformace hřídele - ohyb

Kontrola jednořadých kuličkových ložisek 6006-2Z

Z obrázku 6.29 byla odečtena axiální a radiální síla působící na hřídel. Tato zátěž se rozdělí mezi dvě ložiska.



Obrázek 6.29 - Analýza silových účinků na uložení hřídele

- Axiální síla působící na kloub
- Radiální síla působící na kloub
- Počet ložisek

$$F_a = 2,5 \text{ [N]}$$

$$F_r = 2\,544 \text{ [N]}$$

$$p = 2 \text{ [-]}$$

• Radiální síla působící na jedno ložisko	$F_{r1} = \frac{F_r}{2} = 1\,272 \text{ [N]}$
• Základní dynamická únosnost	$C = 13\,800 \text{ [N]}^{[15]}$
• Základní statická únosnost	$C_0 = 8\,300 \text{ [N]}^{[15]}$
• Koeficient axiálního dynamického zatížení	$Y = 0 \text{ [-]}^{[15]}$
• Koeficient radiálního dynamického zatížení	$X = 1 \text{ [-]}^{[15]}$
• Exponent rovnice trvanlivosti pro bodový styk	$M = 3 \text{ [-]}$
• Otáčky	$n = 4 \text{ [ot/min]}$

Radiální dynamické ekvivalentní zatížení

$$P_r = F_{r1} * X + F_a * Y = 1\,272 * 1 + 2,5 * 0 = 1\,272 \text{ [N]}$$

Základní trvanlivost

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P_r}\right)^m = \left(\frac{13800}{1272}\right)^3 = 1\,277 \text{ [mil.otáček]}$$

Základní trvanlivost v hodinách

$$L_{10hod} = L_{10} * \frac{10^6}{60 * n} = 1\,277 * \frac{10^6}{60 * 4} = 5\,320\,650 \text{ hod}$$

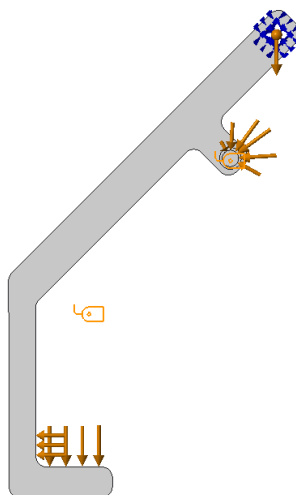
Součinitel statické bezpečnosti

$$S_0 = \left(\frac{C_0}{P_r}\right) = \frac{8300}{1272} = 6,5 \text{ [-]}$$

6.8 Háky

Jako materiál pro háky byl použit dural, konkrétně slitina s označením EN 7022 (někdy taky nese označení certal). Tento vysokopevnostní dural se vyznačuje mezi kluzu až 450 MPa a tvrdostí HB 160. Je dobře obrobitelný i svařitelný. Tato slitina váží třetinu hmotnosti oceli, toto je ovšem vykoupeno větší deformací.

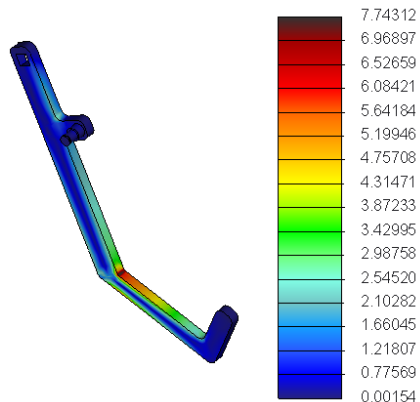
Při výpočtu byla nasimulována situace, kdy na háky působí gravitační síla palety a síla přidržování palety. Na čep pro vzpěru byla aplikována síla spřažení háků.



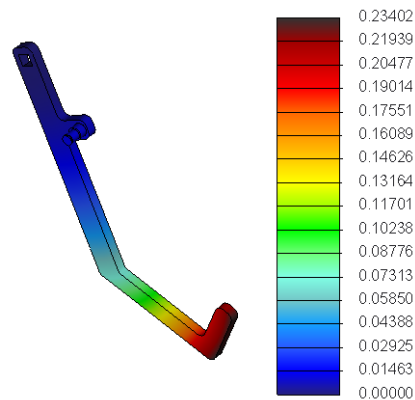
Obrázek 6.30- Výpočtový model háku

- | | |
|---|-------------|
| • Materiál | EN 7022 |
| • Mez kluzu materiálu | 350 MPa[16] |
| • Dovolené napětí s ohledem na bezpečnost $k=2$ | 175 MPa |

Na obr. 6.31 můžeme vidět znázorněno maximální napětí na součásti, které je menší než povolených 175 [MPa]. Na obr. 6.32 je ukázana maximální deformace [mm].



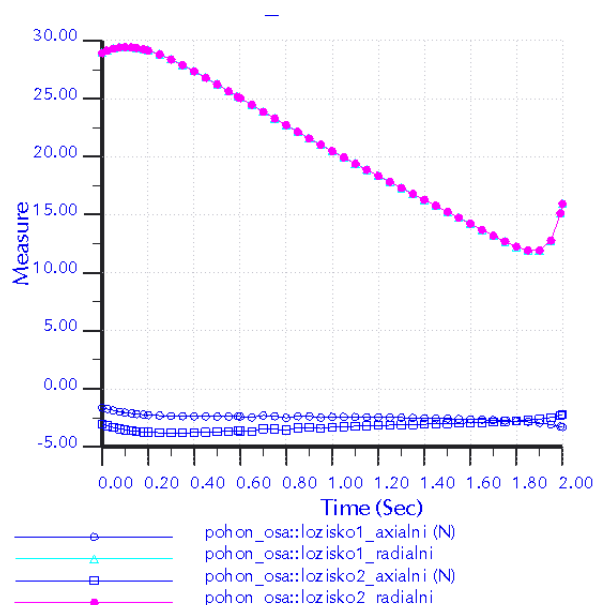
Obrázek 6.31 – Maximální napětí háku



Obrázek 6.32 – Maximální deformace háku

Kontrola dvouřadých kuličkových ložisek 3202 A-2Z

Z obrázku 6.33 byla odečtena axiální a radiální síla působící na čepové spojení háku a vzpěry při rozevírání háků.



Obrázek 6.33 – Analýza silových účinků na ložisko 3202 A-2Z

- Axiální síla působící na kloub $F_a = 4,5 \text{ [N]}$
- Radiální síla působící na kloub $F_r = 58 \text{ [N]}$
- Počet ložisek $p = 2 \text{ [–]}$
- Radiální síla působící na jedno ložisko $F_{r1} = \frac{F_r}{2} = 29 \text{ [N]}$
- Základní dynamická únosnost $C = 11\,200 \text{ [N]}^{[15]}$
- Základní statická únosnost $C_0 = 6\,800 \text{ [N]}^{[15]}$
- Koeficient axiálního dynamického zatížení $Y = 0,78 \text{ [–]}^{[15]}$
- Koeficient radiálního dynamického zatížení $X = 0,63 \text{ [–]}^{[15]}$
- Exponent rovnice trvanlivosti pro bodový styk $m = 3 \text{ [–]}$
- Otáčky $n = 4 \text{ [ot/min]}$

Radiální dynamické ekvivalentní zatížení

$$P_r = F_{r1} * X + F_a * Y = 29 * 0,63 + 4,5 * 0,78 = 21,78 \text{ [N]}$$

Základní trvanlivost

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P_r}\right)^m = \left(\frac{11200}{22}\right)^3 = 135\,982 \text{ [mil.otáček]}$$

Základní trvanlivost v hodinách

$$L_{10hod} = L_{10} * \frac{10^6}{60 * n} = 135\,982 * \frac{10^6}{60 * 4} = 5,6 * 10^{11} \text{ hod}$$

Součinitel statické bezpečnosti

$$S_0 = \left(\frac{C_0}{P_r} \right) = \frac{6800}{21,78} = 311 [-]$$

7 Cenová kalkulace

Pořizovací náklady na efektor byly rozděleny na tři kategorie – vyráběné díly, nakupované komponenty a spojovací materiál. U vyráběných dílů byla stanovena cena na kilogram materiálu v závislosti na složitost úkonů nutných k výrobě. V této ceně je započítán nákup polotovaru i práce. U nakupovaných komponent byly ceny odečteny z e-shopu. Pokud ceník daného komponentu nebyl k dispozici, cena byla odečtena u jiného prodejce na základě podobnosti parametrů dílů. Ceny některých dílů jsou proto pouze orientační. V tabulce nakupovaných dílů je stanoven rozpočet pro nákup ventilů, hadic apod. na 8000 Kč.

Tabulka 7.1 - Náklady na vyráběné díly

Název položky	Číslo výkresu	Počet	Množství	Cena za jed.	Cel. cena
Bočnice - skříň	zah0026-02-02	4	0,49	400 Kč	784 Kč
Čep - spojka	zah0026-04-05	1	0,06	700 Kč	42 Kč
Čep - vzpěra	zah0026-04-02-02	4	0,02	700 Kč	56 Kč
Deska - skříň	zah0026-02-01	1	5,22	400 Kč	2 088 Kč
Deska - vidlice	zah0026-09-01-01	1	3,41	400 Kč	1 364 Kč
Deska - vidlice	zah0026-09-02	1	1,41	400 Kč	564 Kč
Deska2 - skříň	zah0026-02-03	4	0,2	400 Kč	320 Kč
Deska-přidržovací	zah0026-08-01	1	3,98	400 Kč	1 592 Kč
Hřídel 1	zah0026-04-01	1	4,38	800 Kč	3 504 Kč
Hřídel 2	zah0026-05-01	1	4,07	800 Kč	3 256 Kč
Konzola1	zah0026-10-01	1	0,92	500 Kč	460 Kč
Konzola2	zah0026-10-02	1	0,92	500 Kč	460 Kč
L profil1	zah0026-08-03	1	2,28	400 Kč	912 Kč
L profil2	zah0026-09-04	1	0,82	600 Kč	492 Kč
Ložiskový domek	zah0026-03-01-02	4	0,35	800 Kč	1 120 Kč
Nosná tyč1	zah0026-08-02	2	0,15	400 Kč	120 Kč
Nosná tyč2	zah0026-09-03	3	0,37	400 Kč	444 Kč
Oko pro kyv. přírubu	zah0026-02-04	1	0,08	500 Kč	40 Kč
Příruba - efektor	zah0026-01-03	1	3,78	600 Kč	2 268 Kč
Příruba - mezikus	zah0026-01-02	1	1,01	400 Kč	404 Kč
Příruba - robot	zah0026-01-01	1	4,53	600 Kč	2 718 Kč
Redukční matice	zah0026-07-01	2	0,03	500 Kč	30 Kč
Spojka	zah0026-04-04	1	0,55	500 Kč	275 Kč
Vidlice	zah0026-09-06	5	1,52	400 Kč	3 040 Kč

Vidlice - profil	zah0026-09-05	2	0,62	400 Kč	496 Kč
Základní deska	zah0026-03-01-01	1	13,7	400 Kč	5 480 Kč
Žebro - vidlice	zah0026-09-01-02	2	0,39	500 Kč	390 Kč
Hák L	zah0026-04-02-01	1	0,82	800 Kč	656 Kč
Hák L - dlouhý	zah0026-05-02-01	1	0,98	800 Kč	784 Kč
Hák P	zah0026-04-03-01	1	0,82	800 Kč	656 Kč
Hák P - dlouhý	zah0026-05-03-01	1	0,98	800 Kč	784 Kč
Příruba - vzpěra	zah0026-06-01-02	4	0,01	800 Kč	32 Kč
Vzpěra	zah0026-06-01-01	2	0,83	800 Kč	1 328 Kč
Rukáv	zah0026-04-06	4	0,5	250 Kč	500 Kč
Celkové náklady na vyráběné díly					37 459 Kč

Tabulka 7.2 - Náklady na nákup komponent

Název položky	Počet	Cena za ks	Cel. cena
EGR25T	2	800 Kč	1 600 Kč
EGH25CA	2	1 508 Kč	3 016 Kč
Pneumatika	1	8 000 Kč	8 000 Kč
Ložisko 6006 2Z	4	130 Kč	520 Kč
Svěrné pouzdro	1	150 Kč	150 Kč
Ložisko 3202 A-2Z	4	730 Kč	2 920 Kč
ADVU-12-60-A-P-A	2	1 900 Kč	3 800 Kč
FUA-12/16	2	446 Kč	892 Kč
Závitový kolík	2	100 Kč	200 Kč
Výkyvná patka	2	100 Kč	200 Kč
NPQH-L-M5-Q4-P10	5	95 Kč	475 Kč
NPQH-L-G18-Q4-P10	4	95 Kč	380 Kč
DGC-25-300-GF-PPV-A	1	22 000 Kč	22 000 Kč
DSBC-32-115-C-PPV-A	1	2 512 Kč	2 512 Kč
SNC-32	1	313 Kč	313 Kč
SGS-M10x1_25	1	293 Kč	293 Kč
GSM-1013-13	1	50 Kč	50 Kč
Celkové náklady za komponenty			47 321 Kč

Tabulka 7.3 - Náklady na spojovací materiál

Název položky	Norma	Počet	Cena za ks	Cel. cena
Matice KM 3	DIN 981	4	154,00 Kč	616,00 Kč
Matice M12	DIN 934	6	0,97 Kč	5,82 Kč
Matice M5	DIN 934	4	0,08 Kč	0,32 Kč
Matice M6	DIN 934	4	0,17 Kč	0,68 Kč
Matice M8	DIN 934	4	0,30 Kč	1,20 Kč
Podložka M12	DIN 125	6	0,65 Kč	3,90 Kč
Podložka M5	DIN 433	4	0,08 Kč	0,32 Kč

Podložka M6	DIN 433	12	0,18 Kč	2,16 Kč
Podložka M8	DIN 433	12	0,24 Kč	2,88 Kč
Podložka MB 3	DIN 5406	4	36,00 Kč	144,00 Kč
Poj. kroužek pro díru - 35	DIN 472	4	1,75 Kč	7,00 Kč
Poj. kroužek pro hřídel - 10	DIN 471	1	0,21 Kč	0,21 Kč
Poj. kroužek pro hřídel - 15	DIN 471	4	0,40 Kč	1,60 Kč
Poj. kroužek pro hřídel - 30	DIN 471	4	1,82 Kč	7,28 Kč
Šroub M12x40	DIN 933	6	5,90 Kč	35,40 Kč
Šroub M5x16	DIN 912	8	0,58 Kč	4,64 Kč
Šroub M5x28	DIN 912	6	0,73 Kč	4,38 Kč
Šroub M5x30	DIN 933	4	0,42 Kč	1,68 Kč
Šroub M6x14	DIN 912	16	0,61 Kč	9,76 Kč
Šroub M6x25	DIN 933	8	1,26 Kč	10,08 Kč
Šroub M6x35	DIN 931	4	0,98 Kč	3,92 Kč
Šroub M8x20	DIN 933	8	1,45 Kč	11,60 Kč
Šroub M8x35	DIN 933	4	1,55 Kč	6,20 Kč
Celkové náklady na spojovací materiál				881,03 Kč

Celkové pořizovací náklady byly vypočteny na 85 661 Kč.

8 Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval návrhem konstrukce kombinovaného efektoru. Efektor bude použit pro automatizovanou paletizaci pytlovaného zboží, včetně přípravy prázdné palety před samotným ukládáním pytlů. Řešení konstrukce bylo konzultováno ve firmě DAS spol. s r. o. Použitím multifunkčního efektoru odpadá nutnost použití dalšího manipulátoru nebo lidské obsluhy.

V první kapitole byly znázorněny základní typy paletizačních koncových efektorů. V praxi se můžeme setkat s velkým množstvím jejich variací. Dále jsem se zaměřil na ukázky manipulace s paletou a pojistných mechanismů OM. Zde posloužily dobře zpracované modely firmy DE-STA-CO. Na stránkách firmy Fanuc byly na základě požadavků vybrány dva typy robotů, které vyhovují této úloze. Pro další zpracování byl vybrán typ M-900iA/150P.

Na základě rešerše byl po domluvě s vedoucím a konzultantem sestaven požadavkový list, který byl základem pro návrhy variant řešení konstrukce efektoru. Na základě požadavkového listu byla formována kritéria pro hodnotovou analýzu.

Další krokem bylo vypracování variant řešení. Varianty jsem se snažil rozpracovat zhruba na stejnou úroveň, aby hodnocení bylo co nejvíce objektivní. Z návrhu varianty je jasný princip, na kterém by efektor fungoval. Varianty byly podrobeny kritériální analýze. Vítěznou variantou se stala varianta A, tedy varianta, která používá pro manipulaci s paletou háky na hřídelích.

Vítězná varianta pracuje s ryze pneumatickými pohony. Pohony byly vybírány z online katalogu firmy Festo. Nicméně je zde možnost použít i jiné pohony se stejnými parametry, pokud by došlo k menším konstrukčním úpravám uchycení válců. Pro pohon vidlice byl použit bezpístnicový pohon o zdvihu 300 mm. Pracovní prostředí, ve kterém bude efektor aplikován, se nevyznačuje zvýšenou koncentrací nečistot, tudíž nebude nutné používat žádnou další ochranu válce. Pohyb háků zajišťuje pneumatický pohon s brzdou, který je spojen s hřídelí přes kloubovou hlavici a svěrné pouzdro. Přidržování pytle při manipulaci zajišťují dva pneumatické válce, které jsou osazeny výkyvnými patkami.

V další kapitole byly podrobně popsány jednotlivé konstrukční uzly, včetně nutných výpočtů. Kapitoly jsou doplněny o schémata a základní parametry použitých dílů. Podrobnější informace jsou k nahlédnutí v datasheetech, které jsou součástí práce jako přílohy. Pro popisování konstrukce byl využit software PTC Creo Illustrate 3.0. Všechny vyráběné díly jsem podrobil pevnostním analýzám v modulu PTC Creo Simulate 3.0.

V závěru práce byl vytvořen cenový odhad pořizovacích nákladů na efektor. Celková cena za výrobu komponent, nákup dílů a spojovacího materiálu se vyšplhala na 86 000 Kč. V příloze práce se nachází veškerá výrobní dokumentace, sestavné výkresy, datasheety k nakupovaným dílům a model efektoru.

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1.1 - Odebírání pytle z válečkové trati.....	12
Obrázek 1.2 - Prstový koncový efektor[6]	13
Obrázek 1.3 - Vidlicový koncový efektor[6]	13
Obrázek 1.4 - Vakuový koncový efektor[6].....	14
Obrázek 1.5 - Varianta manipulace s paletami firmy DE-STA-CO[7].....	15
Obrázek 1.6 - Ukázka pneumatického přidržování firmy DES-TA-CO[7]	15
Obrázek 1.7 - Roboty Fanuc[8].....	16
Obrázek 1.8 - Rozměry palety EUR 3.....	17
Obrázek 3.1 - Varianta A - manipulace s pytlem	19
Obrázek 3.2 - Varianta A - vyložení pytle	19
Obrázek 3.3 - Varianta A úchop palety.....	20
Obrázek 3.4 - Varianta B – úchop pytle.....	20
Obrázek 3.5 - Varianta B - vyložení pytle	21
Obrázek 3.6 - Varianta B - nastavení vidlice	21
Obrázek 3.7 - Varianta B - úchop palety.....	22
Obrázek 5.1 - Základní deska.....	27
Obrázek 5.2 - Uchycení kolejnic.....	27
Obrázek 5.3 - Základní údaje kolejnice[9].....	28
Obrázek 5.4 - Rozměry vozíčků[9].....	28
Obrázek 5.5 - Základní parametry vozíčků[9]	28
Obrázek 5.6 - Vidlice	29

Obrázek 5.7 - Seřizování efektoru.....	30
Obrázek 5.8 - Půdorysné rozměry podkládacích plechů.....	30
Obrázek 5.9 - Zobrazení seřiditelných rovin.....	31
Obrázek 5.10 - Schéma výpočtu síly pohonu.....	32
Obrázek 5.11 – Pohon DGC-25-300-GC-PPV-A	32
Obrázek 5.12 - Šroubení G1/8.....	32
Obrázek 5.13 - Přidržovací mechanismus.....	33
Obrázek 5.14 - Šroubení M5	34
Obrázek 5.15 - Opěrná deska	34
Obrázek 5.16 - Hřídel.....	35
Obrázek 5.17 - Svěrné spojení[14].....	36
Obrázek 5.18 - Uchycení vzpěry na hácích.....	36
Obrázek 5.19 - Rozsah natočení háků	37
Obrázek 5.20 - Řez uchycení kyvné příruby	37
Obrázek 5.21 - Pohon hřídele.....	38
Obrázek 5.22 - Vizualizace hadic	39
Obrázek 5.23 - Rozměry interfejsu robotu.....	39
Obrázek 5.24 - Vizualizace robotu s efektozem.....	40
Obrázek 5.25 - Finální rozměry efektoru	40
Obrázek 6.1 - Výpočtový model pro svařenec příruby	42
Obrázek 6.2 - Maximální deformace příruby.....	42
Obrázek 6.3 - Maximální napětí příruby	42

Obrázek 6.4 - Výpočtovný model svařence skříně	43
Obrázek 6.5 – Maximální deformace skříně	43
Obrázek 6.6 – Maximální napětí skříně	43
Obrázek 6.7 - Výpočtový model základní desky	44
Obrázek 6.8 – Maximální deformace desky.....	44
Obrázek 6.9 – Maximální napětí desky.....	44
Obrázek 6.10 - Výpočtový model vidlice	45
Obrázek 6.11 – Maximální napětí vidlice	45
Obrázek 6.12 – Maximální deformace vidlice	45
Obrázek 6.13 - Schéma výpočtů klopných momentů na vozíčky	46
Obrázek 6.14 - Výsledky analýzy klopných momentů	46
Obrázek 6.15 - Výpočtový model opěrné desky	47
Obrázek 6.16 – Maximální napětí op. desky.....	47
Obrázek 6.17 – Maximální deformace op. desky.....	47
Obrázek 6.18 - Výpočtový model držáku bezpís. pohonu	48
Obrázek 6.19 – Maximální deformace držáku a).....	48
Obrázek 6.20 – Maximální napětí držáku a)	48
Obrázek 6.21 – Maximální deformace držáku b).....	49
Obrázek 6.22 – Maximální napětí držáku b).....	49
Obrázek 6.23 - Výpočtový model hřídele namáhané na krut.....	49
Obrázek 6.24 – Maximální napětí hřídele - krut	50
Obrázek 6.25 - -Maximální deformace hřídele - krut	50

Obrázek 6.26 - Výpočtový model hřídele namáhané na ohyb	50
Obrázek 6.27 – Maximální napětí hřídele - ohyb.....	51
Obrázek 6.28 – Maximální deformace hřídele - ohyb	51
Obrázek 6.29 - Analýza silových účinků na uložení hřídele.....	51
Obrázek 6.30- Výpočtový model háku	53
Obrázek 6.31 – Maximální napětí háku	53
Obrázek 6.32 – Maximální deformace háku	53
Obrázek 6.33 – Analýza silových účinků na ložisko 3202 A-2Z.....	54
Tabulka 3.1 - Základní parametry variant.....	22
Tabulka 4.1 - Popis hodnotících kritérií.....	23
Tabulka 4.2 - Stupnice hodnocení.....	23
Tabulka 4.3 - Určení váhy významnosti	24
Tabulka 4.4 - Porovnání kritérií v páru	24
Tabulka 4.5 - Ohodnocení variant podle kritérií	25
Tabulka 4.6 - Vážený index varianty A	25
Tabulka 4.7 - Vážený index varianty B.....	26
Tabulka 5.1 - Doporučené utahovací momenty [13].....	41
Tabulka 7.1 - Náklady na vyráběné díly	55
Tabulka 7.2 - Náklady na nákup komponent	56
Tabulka 7.3 - Náklady na spojovací materiál.....	56

Zdroje

- [1] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské práce. [online] [cit. 2013-11-07]. Dostupné z www: <<http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace>>
- [2] SKAŘUPA, J. Kreativita a inovační myšlení v konstruování. [online] 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. [cit. 2013-11-07]. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0. Dostupné z www: <http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf>
- [3] Kárník, L. Periferní zařízení RTP. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2006. 127 s. ISBN:80-248-1221-5.
- [4] KONEČNÝ, Z., KRYŠ, V. CAD III – pevnostní analýzy. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 198 s. Multimediální učební text. ISBN 978-80-248-1513-8. (2007 – učebnice, skriptum). [online] [cit. 2015-10-20]. Dostupné z www: <<http://robot.vsb.cz/skripta/cad-iii/index.html>>
- [5] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: Strojnické tabulky. Albra, Úvaly, 2003, ISBN 80-7361-033-7
- [6] Types of Robotic End Effectors. *Columbia/Okura: Robotic palletizing experts* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: [http://www.columbiaokura.com/blog/blog/2013/10/14/types-of-robotic-end-effectors-\(end-of-arm-tools\)](http://www.columbiaokura.com/blog/blog/2013/10/14/types-of-robotic-end-effectors-(end-of-arm-tools))
- [7] DSC DBG Series Bag Gripper Brochure. *Workholding Equipment & Automation Tooling Solutions | DESTACO* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: http://www.destaco.com/assets/docs/en/catalogs/DSC_DBG-Series-Bag-Gripper-Brochure.pdf?r=false
- [8] Roboty FANUC. *FANUC* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF>
- [9] HIWIN lineární vedení. *Hiwin s.r.o. - Lineární technika, vedení, motory, pohony, kuličkové šrouby | hiwin.cz* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/media/files/01_linearni_vedeni_v2.pdf
- [10] Static and Kinetic Coefficient of Friction Reference Table for COF Values of Common Materials. *MechGuru* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z:

<http://blog.mechguru.com/machine-design/typical-coefficient-of-friction-values-for-common-materials/>

[11] Friction and Friction Coefficients. *Engineering ToolBox* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html

[12] Festo online katalog. *Festo > Pneumatic & Electric Automation Worldwide* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products

[13] Technické informace. *Vespos - spojovací materiály* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.vespos.cz/technicke-informace.php>

[14] SIT-LOCK® keyless locking devices. *SIT* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.sitspa.com/642.pdf>

[15] SKF online katalog. *SKF Group - Ložiska a jednotky Řešení mazání Mechatronika Těsnění Služby Bezdemontážní diagnostika Lineární pohyb - SKF.com* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/product-tables/index.html>

[16] Guidelines for aluminium material. *Alumeco* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.alumeco.com/Knowledge-and-Technique/Aluminium-data/Aluminium-properties.aspx>

Seznam příloh

- A. zah0026 – Efektor
- B. zah0026-02 – Skříň
- C. zah0026-08 – Opěrná deska
- D. zah0026-09 - Vidlice

Disk

- Model efektoru (Creo 3.0)
- Datasheet M-900iA-150P
- EN AW 7022
- Festo - Kompaktní válce ADVU-AEVU
- Festo - Nástavce na pístnici
- Festo - Přímočaré pohony DGC-GF, s kluzným vedením
- Festo - Válce dle norem DSBC, ISO 15552
- Haberkorn-normované díly-strojní nohy a podložky
- HWIIN lineární vedení
- Výkresová dokumentace vyráběných dílů
- Výkresová dokumentace sestavy a podsestav
- Textová část práce